



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

Corso di Laurea Magistrale in Geofisica di Esplorazione ed Applicata

Tesi di laurea magistrale

Interpretazione sismica di profili a riflessione nell'offshore di Ragusa

Candidato Dario Chieppa

Relatore Etta Patacca

ANNO ACCADEMICO

2012/2013

Indice

1. Introduzione	pag. 3
2. Studi precedenti	pag. 9
A. Dati stratigrafici	pag. 9
B. Evoluzione paleogeografica dell'area	pag. 19
C. Evoluzione tettonica	pag. 35
3. Dati geofisici	pag. 39
4. Interpretazione sismica	pag. 48
A. Unità sismostratigrafiche	pag. 56
B. Corpi vulcanici	pag. 82
C. Evoluzione stratigrafico e strutturale dell'area	pag. 103
5. Conclusioni	pag. 143
6. Bibliografia	pag. 153
Appendice: Funzionamento dei programmi	pag. 155
A. Software Kingdom 8.2	pag. 155
B. Software Move	pag. 166

1. Introduzione

L'obiettivo di questo lavoro di tesi consiste nell'interpretazione di un settore dell'avampaese ragusano posto nell'offshore di Ragusa tra la linea di costa della Sicilia Sud - orientale e l'isola di Malta. Quest'area consiste in una porzione offshore a Sud dell'abitato di Pozzallo e Marina di Ragusa (Figura 1.1). Tale zona, orientata NW – SE, occupa un'area di 3300 km² e si estende parallelamente alla linea di costa per 87.616 km.



Figura 1.1: Cartina geografica della Sicilia. Il poligono nero indica l'area di indagine. Immagine tratta da Google maps.

Le prime esplorazioni petrolifere nel Canale di Sicilia sono state effettuate dalla compagnia petrolifera Agip per conto dello Stato Italiano la quale ha esplorato sia l'offshore siciliano sia il resto delle coste italiane. Le linee sismiche acquisite, sia quelle perpendicolari che quelle parallele alla linea di costa, creano una fitta maglia rettangolare. Dal 1957, tutto il materiale sismico acquisito è disponibile gratuitamente presso l'UNMIG ovvero l'Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e la Geotermia del Ministero dello Sviluppo e dell'Economia. Il progetto di esplorazione dell'offshore italiano consiste in 7 zone distinte nel modo seguente (Figura 1.2):

- A (Adriatico settentrionale);
- B (Adriatico centrale);
- C (Offshore della Sicilia più la porzione settentrionale del Canale di Sicilia);

- D (Adriatico meridionale e parte del Mar Ionio);
- E (Mar Ligure, Mar Tirreno e offshore della Sardegna);
- F (Adriatico meridionale e Mar Ionio);
- G (Canale di Sicilia centrale e offshore occidentale della Sicilia).



Figura 1.2: Suddivisione dell'offshore italiano in tanti settori ognuno dei quali distinto da una lettera in maiuscolo. Immagine tratta dal sito web www.videpi.it

L'area oggetto di studio ricade all'interno della zona C del progetto ministeriale; relativi a questa zona, oltre alle informazioni provenienti dall'attività esplorativa svolta per conto dello Stato Italiano da parte dell'Agip, ci sono anche i dati raccolti da numerose compagnie petrolifere che hanno operato nell'area. Per realizzare questo studio sono stati utilizzati i pozzi petroliferi e le linee sismiche sia ministeriali sia commerciali.

Il materiale a disposizione per questo lavoro consiste in:

- 81 linee sismiche che coprono un totale di 1'583 km;
- 16 pozzi petroliferi.

Le prime possono essere distinte in due categorie: le linee sismiche ministeriali provenienti dalle acquisizioni effettuate per lo Stato Italiano (37) e quelle commerciali effettuate dalle compagnie petrolifere (44). Di tutte queste sezioni sismiche 32 sono solo in formato cartaceo mentre le restanti 49 sono anche in formato digitale (formato SegY). Si è scelto di raggruppare queste ultime in un unico progetto a cui è stato dato il nome CR 148. Mentre le linee ministeriali sono acquisite per conto dello Stato Italiano, le linee commerciali provengono da compagnie petrolifere diverse:

- Fugro (4);
- Agip Mineraria (5);
- Petrex (1);
- Montedison (5);
- Enterprise Oil (1);
- Elf Italia (2);
- Lasmo (2).

I numeri tra parentesi indicano, per ognuna delle compagnie petrolifere, il numero di sezioni sismiche da loro acquisite in quest'area; delle rimanenti 24 linee sismiche commerciali non si conoscono gli autori.

Infine è necessario fare una breve introduzione ai pozzi petroliferi disponibili per questo lavoro di tesi. Nell'area di studio, come visibile sulla carta di base (Figura 1.3), sono presenti 16 pozzi:

- 5 solo in formato cartaceo
 - Mila 1
 - Merluzzo Mare 1
 - Oreste 1
 - Spigola Mare 1
 - Vera 1
- 11 sia in formato cartaceo che in quello digitale
 - Archimede 1
 - Aretusa 1
 - Cernia 1

- Eva 1
- Gabbiano 1
- Lucata 001x
- Pilade Est 1
- Polpo 1
- Spada Mare 1
- Ulisse 1
- Vega 1

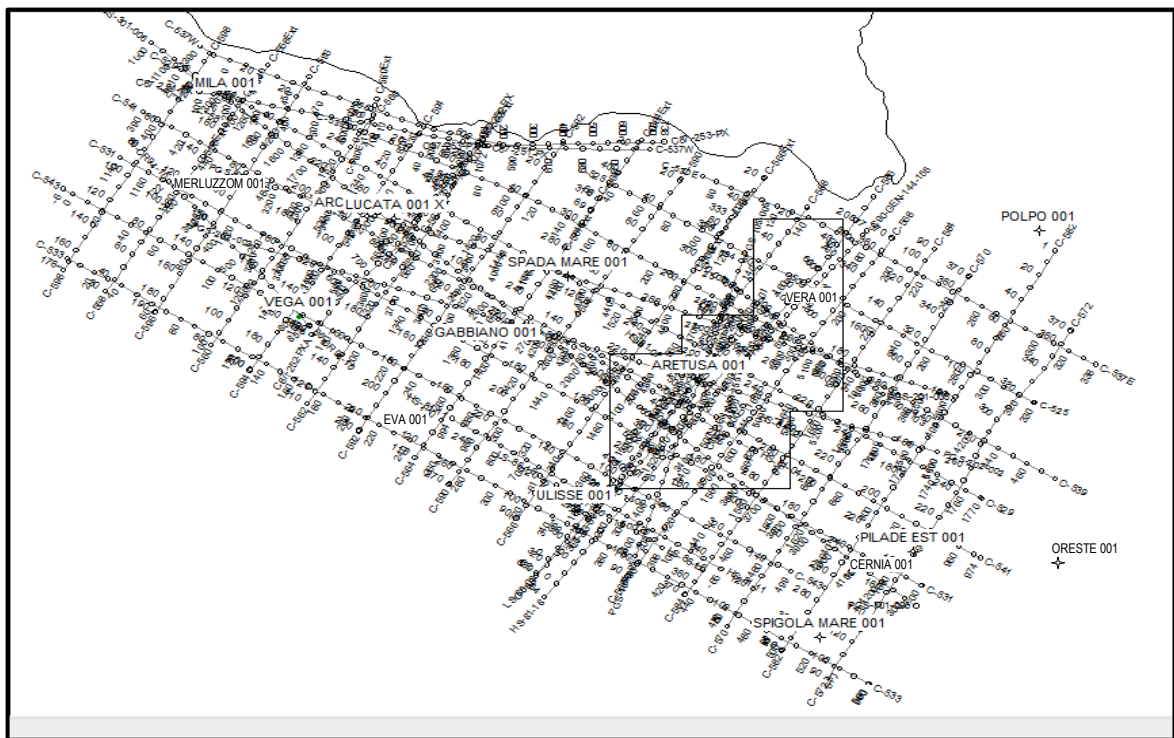


Figura 1.3: Carta geografica del progetto CR 148; su di essa sono riportati sia i pozzi petroliferi (16) sia le linee sismiche in formato SegY (49)

Per elaborare il materiale sismico finora descritto si sono utilizzati tre software:

- SeiSee: apre e visualizza i file in formato SegY;
- Kingdom 8.2: consente di visualizzare i logs e le linee sismiche in formato digitale; su queste ultime, come sui profili sismici cartacei, si è scelto di tracciare il limite superiore delle formazioni, fare il *looping* e controllare le intersezioni tra le linee sismiche vicine. Questo programma, inoltre, consente di creare i grid relativi ad ognuno dei riflettori tracciati utilizzando due categorie di algoritmi: Data Adaptive e Mathematical Model.

- Move: permette di svolgere processi di *time – depth conversion*, *forward modelling*, retrodeformazione e bilanciamento strutturale.

Il seguente lavoro di tesi può esser sintetizzato nei seguenti punti:

- Raccolta e preparazione di dati consistenti in: materiale bibliografico, pozzi petroliferi e linee sismiche (sia in formato cartaceo sia in quello digitale);
- Proiezione dei 16 pozzi sulle linee sismiche;
- Picking dei riflettori e individuazione e caratterizzazione delle sismofacies;
- Calcolo delle funzioni di velocità delle unità sismiche prima nei pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1, tarati con il metodo del VSP, e poi nei 14 pozzi restanti. Il metodo del VSP consiste nella creazione di un sismogramma sintetico il più simile possibile alla sezione sismica reale. Per realizzare questo modello è necessario attribuire, ad ognuno degli intervalli riconosciuti dai dati stratigrafici contenuti nel pozzo, un valore di velocità.
- Riconoscimento dei limiti superiori delle formazioni sulla base delle variazioni litologiche e dell'andamento dei logs. Gli orizzonti individuati sono poi tracciati, tramite processo di *looping* su tutte le sezioni sismiche (dove possibile).
- Tracciamento dei medesimi riflettori sui profili sismici in formato SegY contenuti nel progetto CR148. Quando si sono riportati tutti gli orizzonti sulle sezioni sismiche si procede con la creazione di grid ovvero di carte tempo – strutturali relative ad ognuno dei limiti superiori delle formazioni riconosciute nei pozzi. Tramite questo tipo di elaborato è possibile visualizzare l'andamento in pianta dei tetti delle formazioni che si è scelto di tracciare.
- Utilizzo del software Move per lo svolgimento della conversione tempo – spazio e il *forward modelling*. Nel primo processo, scelta una delle linee sismiche in formato digitale, si procede alla conversione della scala verticale del profilo da secondi (s) a metri (m). La conversione tempo-spazio avviene creando un database al cui interno si inseriscono i valori di velocità e spessore ricavati dall'analisi di velocità di ognuno dei pozzi più vicini alla linea sismica in questione. Nel secondo processo, invece, si agisce generando uno o più modelli al fine di riprodurre, nel miglior modo possibile, la situazione reale visibile in uno o più profili sismici. A tale fine si seleziona una linea sismica intera o una sola porzione in cui è riconoscibile una determinata struttura; nel caso in questione si tratta di un'anticlinale asimmetrica. Date le caratteristiche della struttura scelta si è deciso di utilizzare l'algoritmo di Detachment Fold e quello di

Fault Propagation Fold. È necessario agire con una serie di tentativi variando i parametri richiesti dal programma.

Per l'interpretazione del settore dell'offshore ragusano di studio si sono adottati i seguenti passaggi:

1. Caratterizzazione delle sismofacies;
2. Mappatura di corpi vulcanici e realizzazione di tre elaborati; essi consentono di descrivere la distribuzione areale degli edifici vulcanici in tre intervalli (al di sotto del limite superiore della Fm Streppenosa, tra il tetto della Fm Streppenosa e quello della Fm Hybla ed infine tra quest'ultimo e la porzione inferiore della Fm Ragusa) e di spiegare l'evoluzione dell'attività vulcanica nell'area.
3. Interpretazione dell'attività tettonica per mezzo di linee sismiche e dei grid generati con Kingdom e relativi ai limiti superiori delle formazioni geologiche riconosciute attraverso i dati stratigrafici dei pozzi. Si sono distinte quattro strutture compressive ed una faglia normale tutte a direzione NW – SE.
4. Riconoscimento della Fm Siracusa per mezzo dei dati stratigrafici contenuti in due dei 16 pozzi presenti nell'area. Essa, per come è stata interpretata dai geologi di pozzo, consiste in una successione di piattaforma, al di sopra e al di sotto della quale sono state distinte successioni di tipo bacinale. L'interpretazione delle linee sismiche ha permesso di individuare e distinguere la Fm Siracusa sulla base della sismofacies e di riportarne l'andamento in pianta, su una carta di base.
5. Creazione di una sezione *time – depth conversion*, con il software Move, e di due modelli in grado di riprodurre una delle quattro strutture compressive riconoscibili nell'area di studio utilizzando gli algoritmi di Detachment Fold e Fault Propagation Fold.

2. Studi precedenti

I dati bibliografici utilizzati per la stesura di questo capitolo provengono in parte dalla letteratura tranne alcuni elaborati di tipo confidenziale non citabili e non utilizzabili graficamente in questo lavoro di tesi.

Questo capitolo è diviso in tre parti: la prima si riferisce ai dati stratigrafici relativi alle formazioni geologiche presenti nell'area di indagine, la seconda all'evoluzione paleogeografica dell'area e la terza all'analisi tettonica effettuata nell'onshore ragusano.

A. Dati stratigrafici

In questa prima parte sono presentati i dati litologici relativi alle unità litologiche riconosciute nell'onshore di Ragusa di età Norico-Quaternario. Le informazioni riportate di seguito provengono sia dal lavoro di Patacca et al. (1979) sia dalla Carta Geologica della Sicilia Sud-orientale.

Il lavoro di Patacca et al. (1979) si pone l'obiettivo di introdurre una nuova nomenclatura per le formazioni geologiche perforate nell'onshore ragusano e non affioranti in superficie (Figura 2.1), al fine di sostituire i termini tradizionali utilizzati dai geologi del petrolio. Per descrivere la successione bacinale di età mesozoica, compresa tra il Norico e il Maastrichtiano, gli autori studiano le carote e i cuttings provenienti da numerosi pozzi localizzati nella Sicilia sud-orientale tra le province di Caltanissetta, Catania, Ragusa e Siracusa. Inoltre gli autori, per meglio definire i limiti geologici tra le formazioni, reinterpretarono i logs elettrici registrati in tutti i pozzi.

Le informazioni litostratigrafiche contenute nella Carta geologica della Sicilia Sud-orientale, realizzata alla scala 1:100'000 dall'Università di Catania e dall'Ente Minerario Siciliano, consentono di descrivere le formazioni geologiche di età Oligocene superiore - Quaternario affioranti nell'onshore di Ragusa.

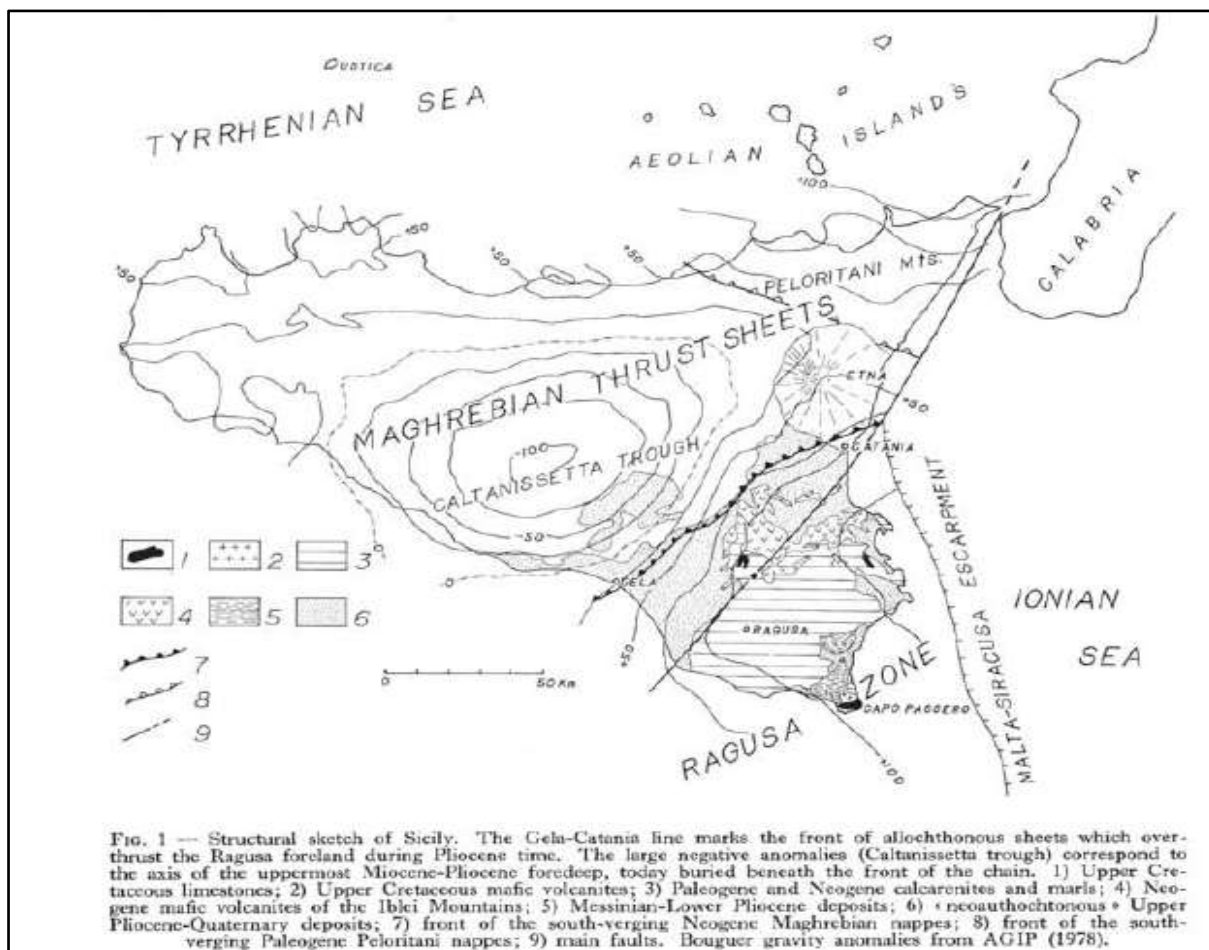


Figura 2.3: Carta geologico - strutturale della Sicilia Sud-orientale da Patacca et al. (1979)

Sia nell'onshore sia nell'offshore ragusano è possibile riconoscere tra il Norico e il Retico due domini paleogeografici:

1. la zona di Ragusa in sottosuolo è caratterizzata da una successione che indica condizioni di piattaforma di mare basso fino al Retico p.p. e quindi bacino.
2. la zona di Siracusa invece è caratterizzata da una successione di piattaforma carbonatica di mare basso persistente fino a tutto il Lias medio.

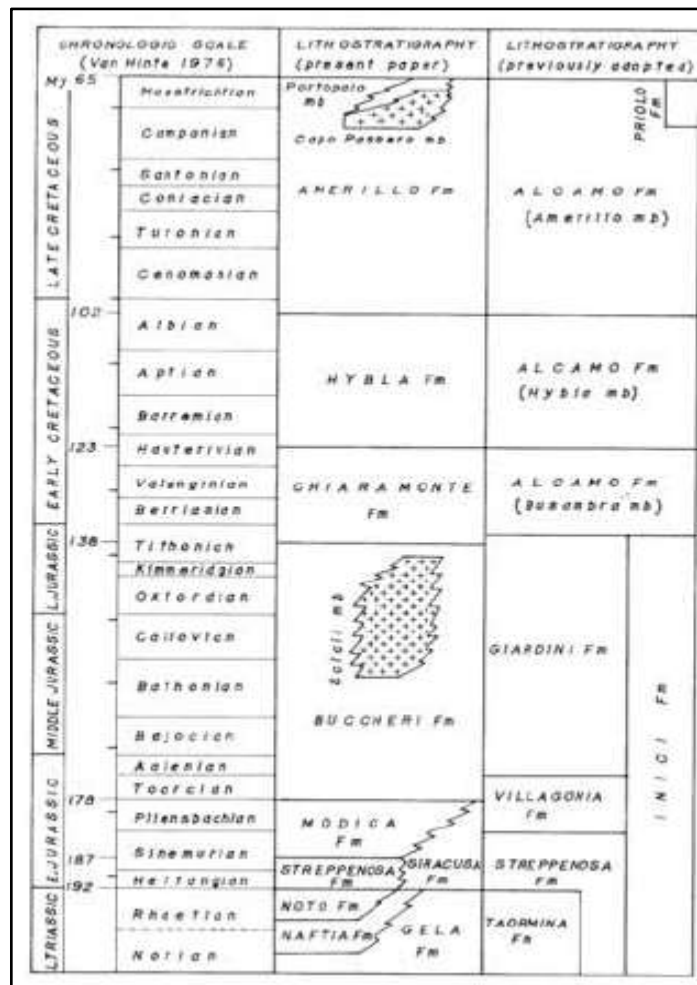


Figura 2.4: Classificazione delle unità geologiche da Patacca et al. (1979)

La formazione geologica più vecchia attraversata in sottosuolo nella zona di Ragusa risale al Triassico superiore. La nuova classificazione introdotta da Patacca et al. (1979) di Figura 2.2 riconosce, sulla base delle caratteristiche litologiche e delle età, due unità litostratigrafiche la Fm Gela e la Fm Naftia.

Fm Gela (Norico - Retico)

La formazione geologica più profonda perforata nella zona di Ragusa consiste in una sequenza di dolomie bianche e calcari dolomitici di piana tidale al cui interno si rinvencono sporadici livelli di vulcaniti mafiche. Il limite inferiore non è perforato in nessun pozzo dell'onshore ragusano mentre il suo limite superiore è diverso a seconda della zona paleogeografica considerata; nella zona di Ragusa, infatti, al di sopra della Fm Gela si depongono le dolomie e le evaporiti di età Norico – Retico della Fm Naftia mentre nella zona di Siracusa il limite superiore è con i calcari della Fm Siracusa di età Liassico inferiore – medio. La Formazione Gela non è distribuita in egual modo su tutta l'area; all'interno della successione è possibile distinguere una porzione inferiore (Norico) ed una superiore (Retico).

La prima, diffusa in tutto il ragusano, è costituita da una sequenza monotona di dolomie loferitiche bianche. Non è noto con certezza lo spessore di questa sequenza, ma non è meno di 3000 metri. La seconda di età Retico è riconoscibile solo nella zona di Siracusa ed ha uno spessore di 800 metri: i primi 200 metri sono costituiti da dolomie bianche porose indicanti il persistere di condizioni intertidali mentre i rimanenti 600 metri contengono calcareniti di ambiente subtidale.

Fm Naftia (Norico p.p. – Retico p.p.)

La Formazione Naftia consiste in una successione di dolomie brunastre con associati lenti e noduli di anidriti tipici di ambiente sopra – intertidale. Il limite inferiore di questa formazione è gradazionale e segna il passaggio alla Fm Gela mentre quello superiore è netto e divide la Fm Naftia dalla Fm Noto. Questa successione, presente solo nella zona di Ragusa, consiste in un'alternanza di dolomie algali brunastre porose e cristalline, più frequenti nella porzione inferiore della sequenza, e dolomie grigie biancastre con associate brecce dolomitiche. Lo spessore totale di questa successione varia tra 80 e 180 metri arrivando, in un unico caso (pozzo Vizzini 1), fino a 2000 metri.

Al di sopra delle dolomie triassiche della Fm Taormina (Fm Gela + Fm Naftia) la successione sedimentaria prosegue con la deposizione di black shales di età Triassico superiore – Liassico inferiore. I geologi del petrolio definivano queste litologie come facenti parte della Formazione Streppenosa mentre nel lavoro di Patacca et al. (1979) sono distinte due unità litostratigrafiche di differente età e diverso significato deposizionale: Fm Noto (quella inferiore) e Fm Streppenosa (quella superiore).

Fm Noto (Retico)

La deposizione della successione mesozoica prosegue con la deposizione della Fm Noto i cui limiti superiore e inferiore sono netti. Tale formazione affiora nella sola zona di Ragusa e giace tra la sottostante Fm Naftia e la soprastante Fm Streppenosa. Nella zona di Siracusa i depositi della Fm Noto sono sostituiti dai depositi della porzione superiore della successione della Fm Gela, di età Retico. Lo spessore di questa formazione varia da alcune decine di metri fino ad un massimo di 300 metri. Dal punto di vista litologico si distinguono due facies:

- la prima è rappresentata da dolomie scure sottilmente stratificate e dei calcari dolomitici intercalati con argille nere. Queste litologie testimoniano la presenza di ambienti deposizionali tipici di lagune, canali ed argini e sono state perforate ed attraversate nella zona centrale dell'area di Ragusa;

- la seconda consiste in calcareniti dolomitiche porose di colore marrone – rossiccio e biancastro interpretate come creste sabbiose ampiamente sviluppate distribuite in due zone marginali allungate in direzione WSW – ENE e NW – SE.

Fm Siracusa (Hettangiano - ? Domeriano)

La Formazione Siracusa consiste in calcari biancastri e subordinati calcari dolomitici di mare basso. Tale successione, riconosciuta solo nella zona di Siracusa, giace al di sopra delle dolomie e delle evaporiti di età retica della Fm Naftia e al di sotto Fm Modica.

In alcuni pozzi, all'interno della successione sedimentaria, si trovano intercalazioni di vulcaniti mafiche. L'analisi dei logs elettrici non ha permesso di distinguere né il limite superiore né quello inferiore. Per il primo è da notare che esso non separa sempre la Fm Siracusa dalla soprastante Fm Modica, ma in alcuni casi, come è ad esempio nel pozzo Pozzillo 1, i calcari della Fm Siracusa giacciono al di sotto dei calcari pelagici nodulari di ambiente profondo della Fm Buccheri. Questa successione è datata all'Hettangiano – ? Domeriano e il suo spessore è di circa 700 – 800 metri.

Fm Streppenosa (Hettangiano – Sinemuriano s. str.)

I geologi del petrolio dividevano tale successione in tre intervalli dall'alto al basso geometrico: “Barren Zone”, “Dwarfed Fauna Zone” e “Estheria or Posidonia Zone”. La classificazione introdotta da Patacca et al. (1979) definisce la Fm Streppenosa come costituita dalle prime due zone mentre la terza ed ultima zona, quella geometricamente più profonda, è attribuita alla sottostante Fm Noto.

La Fm Streppenosa, ampiamente diffusa nella zona di Ragusa, è eteropica con i calcari della Fm Siracusa ed ha uno spessore variabile tra poche decine di metri fino ad un massimo di 2900 metri. I frammenti di cuttings attribuiti dai geologi di pozzo a questa sequenza sono datati in un periodo compreso tra l'Hettangiano e il Sinemuriano s.str.; il limite inferiore di questa sequenza è netto ed è con i depositi di età Retico della Fm Noto mentre quello superiore, gradazionale, è con la Fm Modica (di età Lotharingiano). All'interno della Fm Streppenosa sono distinte tre tipi di sequenze:

- Bacinale: costituita da una potente successione di risedimenti calcarei accumulatisi all'interno di un bacino subsidente localizzato a Sud. Le litologie sono rappresentati da calcari marnosi e dolomiti grigio – verdastre con intercalazioni di argille nere. Solo nella porzione meridionale della zona di Ragusa si trovano frequenti intercalazioni di vulcaniti mafiche.

- Condensata: sequenza tipica degli alti strutturali sviluppati a Nord e a Est del bacino subsidente. E' caratterizzata da calcari marnosi nodulari di colore grigio scuro e marne con associate calcareniti glauconitiche. Questi depositi testimoniano la presenza di un'area stabile con una topografia dolce a Nord e ad Est del bacino subsidente.
- Composita: quest'ultima successione consiste in depositi emipelagici condensati seguiti al di sopra di risedimenti grossolani di piattaforma; si estende fino al bordo della zona di Siracusa lungo una zona di faglia attiva a direzione WSW - ENE. I risedimenti consistono in calcareniti grigio brunastre e brecce calcaree, accumulate per mezzo di flussi gravitativi, con al loro interno intercalazioni di marne grigie e argille di ambiente (emi)pelagico.

Fm Modica (Lotharingiano – Domeriano)

Nella zona di Ragusa la sedimentazione prosegue con la deposizione della Fm Modica di età Lotharingiano - Domeriano la quale era attribuita da Rigo e Barbieri (1959) alla Formazione Villagonia (Liassico medio - superiore). Essa si estende in tutto il sottosuolo della zona di Ragusa e localmente si individua nella zona Siracusa come visibile nel pozzo Siracusa 1. Come già affermato in precedenza, il limite inferiore è con la Fm Streppenosa ed è gradazionale mentre quello superiore, con la Fm Buccheri, è netto. Lo spessore misurato nei pozzi varia da alcune decine fino a 500 metri.

Mentre la Fm Streppenosa è eteropica con la parte inferiore della Fm Siracusa la successione della Fm di Modica è eteropica con la parte superiore della Fm Siracusa.

La deposizione della Fm Modica continua fino al Pliensbachiano superiore quando compaiono le prime forme di Lotharingius riconosciute da Ronchi et al. (2000) solo nella porzione superiore della sequenza. Anche in questa formazione, come nella sottostante Fm Streppenosa, è possibile distinguere tre tipi di sequenze:

- Bacinale: è una sequenza molto potente tipica delle zone di basso morfologico. Questi depositi consistono in sedimenti carbonatici a grana fine (nella porzione meridionale della zona di Ragusa), calcari selciferi di colore grigio chiaro e calcari marnosi screziati alternati a marne e argille grigio verdastri. Alcuni dei pozzi della zona di Ragusa attraversano lave basaltiche e livelli di ialoclastiti.
- Composita: consiste in una successione costituita da sedimenti condensati seguiti da depositi bacinali. La successione è costituita da calcari rossi nodulari seguiti da calcari grigio chiari e verdastri con marne intercalate.
- Bacinale prossimale: come dice il nome, consiste in una sequenza deposta all'interno di un bacino in prossimità del passaggio di uno shelf o di uno slope. Essa è costituita

da risedimenti calcarei grossolani contenenti detriti scheletrici e particelle provenienti da una piattaforma coeva. Questi sedimenti sono disposti in modo tale da formare un cuneo clastico il cui spessore passa da un massimo di 350 metri fino ad un minimo di 100 metri nel settore centrale della zona di Ragusa. Al centro dell'area, dove il cuneo ha lo spessore minimo, sono presenti intercalazioni di torbiditi distali gradanti nei depositi bacinali. Verso la porzione centrale del bacino è possibile riconoscere una diminuzione della grana dei risedimenti. Le litologie riconosciute nei pozzi consistono in calcareniti selcifere di colore crema chiaro e breccie calcaree al cui interno si trovano intercalazioni marnose.

Fm Buccheri (Toarciano – Titoniano inferiore)

Sopra la Fm Modica si depone, tra il Toarciano e il Titoniano inferiore, la Fm Buccheri chiamata, dai geologi del petrolio, Fm Giardini. Essa giace sotto la Fm Chiaramonte dalla quale è separata da un limite gradazionale e sopra la Fm Modica tramite un limite netto. Quest'ultimo limite non è uguale in tutta l'area di Ragusa, infatti in alcuni pozzi i depositi della Fm Buccheri poggiano in discordanza sulla Fm Siracusa. Sia il limite inferiore che quello superiore sono facilmente riconoscibili dai logs elettrici per il forte contenuto di argille riconoscibile nella porzione inferiore di questa sequenza. All'interno di questa successione si rinvencono sia livelli ialoclastitici e lave basaltiche intercalati sia corpi vulcanici sottomarini massivi isolati. Per meglio descrivere questa intensa attività vulcanica riconosciuta da Patacca et al. (1979), è stato introdotto il termine di membro di Scicli. Questo corpo, definito tramite il pozzo Scicli 2, s'interpone tra le marne bacinali e i calcari marnosi con intercalazioni vulcaniche del Giurassico medio e i calcari nodulari condensati di età Giurassico superiore. La presenza di questo edificio vulcanico provoca, almeno per il caso in esame, un improvviso cambiamento nella sedimentazione passando da condizioni deposizioni di tipo bacinale a quelle di sea – mounts (Patacca et al., 1979). La formazione Buccheri si estende in tutta l'area di Ragusa, ma a seconda della zona mostra variazioni di spessore e di facies legate alle irregolarità presenti nel fondo marino generate sia dalla tettonica sinsedimentaria del Lias inferiore sia dall'attività vulcanica del Giurassico medio – superiore. In questa formazione è possibile riconoscere due tipi di sequenze:

- Completa: successione con uno spessore variabile tra 50 – 100 e 650 metri suddivisa al suo interno in tre intervalli sulla base dell'andamento dei logs elettrici. Il primo, quello geometricamente più basso, è caratterizzato dalla presenza di abbondanti bivalvi pelagici di età probabilmente tra il Liassico superiore e il Batoniano; il secondo di età Calloviano – Kimmerdigiano si presenta ovunque come formato da calcari

silicei di colore grigio chiaro e verdastro con intercalate marne rosse e verdi; il terzo, corrispondente all'intervallo superiore (Kimmerdigiano – Titoniano), è caratterizzato da abbondanti resti di Saccocoma.

- Condensata e incompleta: si sviluppa nelle porzioni marginali dell'area di Ragusa in corrispondenza degli alti morfologici e raggiunge lo spessore massimo di 30 metri. La sequenza consiste in calcari nodulari rosati e, solo nella parte inferiore, sono presenti numerose lacune sedimentarie legate ad erosione sottomarina o a non deposizione.

I geologi del petrolio, al di sopra della Fm Giardini, definivano la Fm Alcamo la quale era divisa al suo interno in tre membri: Membro Busambra, Membro Hybla e Membro Amerillo. Con la nuova classificazione introdotta da Patacca et al. (1979) si distinguono rispettivamente le seguenti formazioni: Fm Chiaramonte, Fm Hybla e Fm Amerillo.

Fm Chiaramonte (Titoniano superiore – Hauteriviano inferiore)

La Formazione Chiaramonte, di età Titoniano superiore – Hauteriviano inferiore, consiste in calcari selciferi di colore bianco contenenti calpionellidi; tale successione è diffusa in tutta la Sicilia meridionale. Il limite inferiore della Fm Chiaramonte, di tipo gradazionale, è con la Fm Buccheri ed è definito da Patacca et al. (1979) sulla base di un criterio biostratigrafico (prima comparsa dei calpionellidi) mentre quello superiore, netto, è con la Fm Hybla. Lo spessore di questa sequenza varia da 10 – 20 metri fino ad un massimo di 350 metri. Nella zona di Ragusa in sottosuolo, all'interno di questa successione, sono riconoscibili tre sequenze:

- Bacinale: depositi tipici di una depressione morfologica localizzati nella parte centrale della zona di Ragusa. Tale sequenza, di età Titoniano superiore – Cretaceo inferiore, consiste in calcari selciferi bianchi con intercalazioni marnose verdi.
- Composita: si tratta di una sequenza divisa in due intervalli. Quello inferiore è costituito da depositi pelagici condensati mentre quello superiore presenta sedimenti bacinali.
- Condensata sottile: questa sequenza, diffusa nella sola porzione marginale dell'area, consiste in calcari nodulari rossi e rosati simili ai calcare nodulari della Fm Buccheri. Questi depositi sono localizzati sugli alti morfologici ed hanno spessori ridotti.

Fm Hybla (Hauteriviano superiore – Albiano p.p.)

Al di sopra della Fm Chiaramonte, in tutta la zona di Ragusa, s'individua la Fm Hybla. Il suo spessore varia da 10 – 20 metri fino a 300 metri. Entrambi i limiti di formazione con la sottostante Fm Chiaramonte e con la soprastante Fm Amerillo sono netti. Le litologie

riconosciute all'interno della Fm Hybla consistono in argille grigio-verdastre e marne argillose ricche in materia organica. Occasionalmente sono presenti intercalazioni di calcari marnosi biancastri.

Fm Amerillo (Albiano p.p. e il Maastrichtiano)

Tra la sottostante Fm Hybla e la soprastante Fm Ragusa avviene la deposizione della Fm Amerillo corrispondente a quello che i geologi del petrolio chiamavano il membro Amerillo appartenente alla Fm Alcamo. Questa successione, diffusa in sottosuolo in tutta la zona di Ragusa, consiste in calcari selciferi bianchi. Il limite inferiore di questa formazione è netto mentre quello superiore, gradazionale, mette a contatto i calcari della Fm Amerillo con le calcareniti terziarie della Fm Ragusa. Lo spessore di questa successione varia da 20 – 50 metri fino a 800 metri; al suo interno possono essere riconosciuti due intervalli:

- quello inferiore (Cenomaniano – Turoniano) composto da calcari al cui interno si riconoscono le bioturbazioni tipiche dei depositi (emi)-pelagici;
- quello superiore (Senoniano) consiste in risedimenti torbiditici. Gli autori Patacca et al. (1979) pongono il limite superiore della Fm Amerillo in corrispondenza della base dei depositi canalizzati di età Maastrichtiano – Paleocene; questi ultimi testimoniano un aumento dell'attività tettonica sinsedimentaria.

All'interno della Fm Amerillo, grazie all'analisi dei cuttings provenienti dai pozzi perforati nella Sicilia sud-orientale, sono riconoscibili numerose vulcaniti sia come livelli intercalati all'interno della sequenza sedimentaria sia come enormi edifici massivi isolati. Questi ultimi, per le loro enormi dimensioni, raggiungono la zona fotica consentendo su di essi la deposizione di sedimenti di acque poco profonde (scogliere a rudiste).

Nel lavoro di Patacca et al. (1979), all'interno della Fm Amerillo, sono distinti due membri: le vulcaniti di Capo Passero e i Calcari di Porto Palo. Le prime consistono in vulcaniti e basalti alcalini sottosaturi di età compresa tra 81 e 71 milioni di anni mentre i secondi sono calcari a rudiste ricchi in macroforaminiferi e alghe; affiorano a Nord e a Sud dell'abitato di Porto Palo. I calcari di Porto Palo, potenti all'incirca 40 metri, giacciono al di sopra delle vulcaniti di Capo Passero e le calcareniti della Fm Cozzo Cugni, al di sotto.

Gli autori della Carta Geologica della Sicilia Sud-orientale, sulla base dei depositi trovati in affioramento, datano la Formazione Amerillo al Campaniano-Eocene medio diversamente da quanto riportato da Patacca et al. (1979).

Le informazioni relative alle formazioni geologiche di età terziaria, affioranti nell'onshore di Ragusa, provengono dalla Carta Geologica della Sicilia Sud-orientale alla scala 1:100'000 realizzata dell'Università di Catania in collaborazione con l'Ente Minerario Siciliano.

Fm Cozzo Cugni (Luteziano medio)

La Fm Cozzo Cugni, datata al Luteziano medio (Colacicchi, 1963), giace al di sopra del membro di Capo Passero. I depositi di questa formazione consistono in calcari in trasgressione sulle sottostanti calciruditi del Membro di Capo Passero. Gli studi stratigrafici effettuati su questi depositi mostrano che il loro ambiente di sedimentazione è molto simile a quello del membro di Porto Palo e consiste in un ambiente di mare poco profondo, soggetto a correnti molto energiche e con acque limpide (Colacicchi, 1963).

Sulla Carta Geologica della Sicilia Sud-orientale, tra la sottostante Fm Cozzo Cugni e la soprastante Fm Monti Climiti, gli autori non hanno riconosciuto, in affioramento, alcun tipo di deposito relativo all'intervallo di tempo compreso tra l'Eocene medio e l'Oligocene inferiore.

Fm Monti Climiti (Oligocene medio - Tortoniano)

La Formazione dei Monti Climiti è suddivisa in due membri: il primo, membro dei Calcari di Siracusa, è costituito da calcareniti e calciruditi algali di colore bianco – grigiastro, localmente stratificate mentre il secondo, membro Melilli, consiste in calcareniti bianco – giallastre friabili organizzate in strati di spessore da pochi decimetri fino ad oltre 10 metri.

La Fm Cozzo Cugni e la Fm Monti Climiti affiorano nella porzione orientale della zona di Ragusa sia onshore che offshore.

Fm Ragusa (Oligocene superiore – Miocene medio)

La deposizione della Fm Ragusa interessa tutta la zona di Ragusa e, come per la Fm Monti Climiti, è distinta in due membri: Mb Leonardo e Mb Irminio.

Il primo, di età Oligocene superiore, consiste in un'alternanza di calcilutiti in strati di 20 – 30 cm e marne in spessori variabili tra 5 – 20 cm di colore bianco crema.

Il secondo, di età Aquitaniano – Langhiano, è costituito da un'alternanza di biocalcareni litificate a macroforaminiferi di colore bianco grigiastro, in banchi potenti da 50 cm fino a 2 – 3 metri, e di calcareniti marnose giallastre scarsamente litificate e mal classate. Lo spessore complessivo di tale formazione si aggira attorno ai 200 metri.

Fm Tellaro (Langhiano inferiore – Messiniano)

Nella porzione occidentale dell'area Iblea, tra il Langhiano inferiore e il Messiniano, avviene la deposizione della Fm Tellaro. Essa consiste in una formazione costituita da marne di colore grigio – azzurro con frattura subconcoide contenenti sporadici l'alternanza di orizzonti calcarenitico e di livelli marnosi di spessore compreso tra 30 – 50 cm e spesso deformati da *slumping*. Lo spessore di questa successione varia da un minimo di 60 metri nella zona di Mineo fino ad un massimo di 250 – 300 metri nella Valle del Fiume Tellaro. La deposizione della Fm Tellaro prosegue fino al Messiniano, quando la chiusura dello stretto di Gibilterra, provoca un aumento della salinità e la sedimentazione dei primi depositi evaporitici all'interno del Mar Mediterraneo.

Fm Gessoso Solfifera (Messiniano)

Dopo la chiusura del Mar Mediterraneo, nel Messiniano, si verifica un aumento della salinità e la deposizione delle evaporiti della Fm Gessoso Solfifera. All'interno della successione sedimentaria si distinguono, dal basso verso l'alto, le seguenti litologie:

- argille;
- diatomiti marine indicanti un ambiente a scarso tenore di ossigeno;
- "calcare solfifero" cui seguono i gessi, e talora il salgemma; in qualche caso si trovano anche i sali potassici (KCl).

Separata da un intervallo marnoso, la sequenza prosegue verso l'alto con una seconda successione gessosa.

B. Evoluzione paleogeografica dell'area

Nella Sicilia meridionale e nell'offshore è possibile distinguere due domini paleogeografici:

1. la zona di Ragusa
2. la zona di Siracusa.

La prima, tra il Norico e il Retico, è caratterizzata da condizioni di acque poco profonde con circolazione di mare aperto; qui ha luogo la deposizione delle Fm Gela, della Fm Naftia e dei depositi di canali tidali di età Retico. Le litologie contenute all'interno di queste formazioni geologiche indicano, in questa zona, il verificarsi di una fase trasgressiva.

La seconda consiste in un ambiente sedimentario protetto, costituito da un complesso sistema di canali tidali e stagni bordati a Nord e a Est da creste sabbiose. In questa zona non si raggiungono le condizioni supratidali come mostrano le calcareniti di acque poco profonde in

condizioni subtidali, la cui deposizione è successiva a quella dei depositi di età Retico deposti in ambiente intertidale.

Nel Triassico superiore si verifica un'attività tettonica sinsedimentaria testimoniata dalla messa in posto di potenti corpi vulcanici attraversati, per centinaia di metri, nei pozzi.

Le formazioni geologiche più vecchie rinvenute nell'area di Ragusa, note come Dolomie Triassiche della Fm Taormina, risalgono al Triassico superiore. Con la nuova classificazione introdotta Patacca et al. (1979) riconoscono, sulla base delle caratteristiche litologiche e delle età, due unità litostratigrafiche: Fm Gela e Fm Naftia. La prima delle due formazioni non è distribuita in egual modo su tutta l'area come è mostrato i pozzi perforati nell'onshore ragusano; all'interno della successione sedimentaria della Fm Gela è possibile distinguere una porzione inferiore (Norico) ed una superiore (Retico). La prima è diffusa in tutto il territorio ragusano mentre la seconda è riconoscibile solo nella zona di Siracusa. Al di sopra della porzione superiore della Fm Gela, nella sola zona di Ragusa, si depone la Fm Naftia (Norico p.p – Retico p.p).

La deposizione della successione bacinale prosegue con la deposizione della Fm Noto (Retico) la quale affiora solo nella zona di Ragusa. Questa sequenza giace tra la Fm Naftia (al di sotto) e la Fm Streppenosa (al di sopra); entrambi i limiti sono netti in tutta l'area. Nella zona di Siracusa i depositi della Fm Noto sono sostituiti dai sedimenti della porzione superiore della successione della Fm Gela, di età retico.

Nell'intervallo di tempo compreso tra il Norico e il Retico, procedendo verso Sud, s'incontrano prima i depositi di piana tidale della Fm Gela, nell'area Iblea, e poi i domini contenenti sequenze semiaride sopratidali i quali segnano la transizione alle evaporiti riconosciute nel mainland della Tunisia e della Libia.

Lo studio effettuato da Frixia et al. (2000) tra il pozzo Pachino 4 (localizzato nell'onshore ragusano) e il pozzo Polpo 1 (localizzato nell'offshore ragusano) ha come obiettivo la ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica di un settore onshore e offshore della zona di Ragusa lungo un profilo a direzione NW – SE indicato con le lettere A e A' (Figura 2.3).

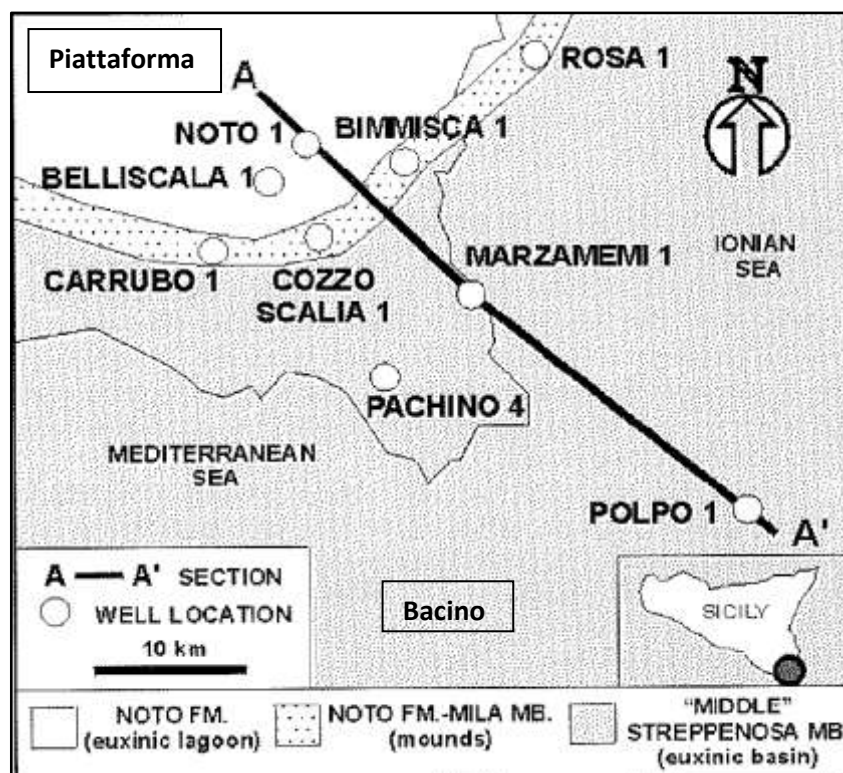


Figura 2.3: Schema della distribuzione di facies nel Retico nella Sicilia Sud-orientale e nell'offshore da Frixia et al. (2000). La linea nera indica un profilo a direzione NW – SE che attraversa sia le facies bacinali sia quelle di piattaforma.

Questi autori distinguono due domini paleogeografici la zona di Noto (a NW) e la zona di Polpo (a SE) conseguenti la dissezione della piattaforma carbonatica nel Norico. Come visibile in Figura 2.4, nella prima delle due zone si stabilirono condizioni deposizionali di tipo lagunare in ambiente poco profondo (Fm Noto) mentre nella seconda avvenne la messa in posto di depositi bacinali profondi rappresentati dalla Fm Streppenosa. L'elevata frazione argillosa riconosciuta in queste due formazioni è da attribuire ai cambiamenti climatici i quali inibiscono la produzione dei carbonati (ad esempio basse temperature, aumento delle precipitazioni e bassa salinità). Questi apporti detritici provengono, molto probabilmente, dal dominio libico – tunisino, dallo smantellamento di un'area continentale.

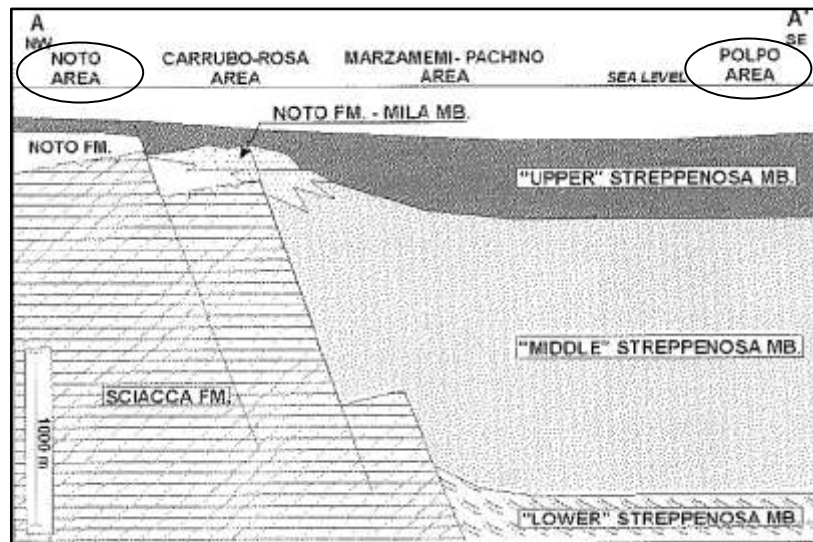


Figura 2.4: Sezione NW - SE attraverso l'area di Noto e quella di Polpo da Frixia et al. (2000)

Questi autori, nella loro area di studio, riconoscono una porzione settentrionale in cui avviene la deposizione della Fm Sciacca, il cui corrispondente nell'onshore di Ragusa è la Fm Gela, ed una meridionale in cui sedimenta la Fm Streppenosa la quale al suo interno è distinta in tre membri (inferiore, intermedio e superiore). La classificazione introdotta da Patacca et al. (1979) attribuisce alla Fm Streppenosa il membro intermedio e quello superiore della sequenza sedimentaria mentre, alla sottostante Fm Noto, quello inferiore.

Fino alla fine del Retico persistono condizioni di tipo tidale e sopratidale a Ovest e a Sud dell'onshore di Ragusa passanti a condizioni di piattaforma poco profonda (Fm Siracusa).

Nella zona di Noto inizia, in anticipo rispetto alle zone limitrofe, una fase di annegamento; durante questo intervallo temporale la minore attività tettonica di quest'area rispetto ai settori sud-orientali del bacino porta s'instaura un complesso sistema di lagune di tipo euxinico e di bacini shallow in cui avviene la deposizione della Fm Noto. I sedimenti di quest'ultima formazione, sulla base di quanto riportato da Frixia et al. (2000) nel proprio lavoro, si depongono sia sugli alti strutturali al di sopra della Fm Gela (zona di Noto), come visibile in Figura 2.4, sia nel bacino (zona di Polpo).

Il limite che separa il membro inferiore della Fm Streppenosa dalla sottostante Fm Sciacca consiste in una disconformità legata a non deposizione della Fm Naftia.

Dal Retico nella sola zona di Noto, in corrispondenza degli alti strutturali, si registrano i primi segni di un'instabilità tettonica testimoniata dalla messa in posto di slumps e brecce dolomitiche. Durante lo stesso intervallo temporale, all'interno del bacino, avviene la deposizione della Fm Streppenosa sia nella zona di Ragusa sia in quella di Polpo.

Al margine della piattaforma dissecata, tra il dominio lagunare rappresentato dalla Fm Noto (zona di Noto) e quello bacinale rappresentato dalla Fm Streppenosa (zona di Polpo), si genera una stretta fascia costituita da mounds dolomitici o ricristallizzati ed associate brecce a direzione NE – SW. Questi sedimenti sono definiti da Frixia et al. (2000) membro Mila il quale fa parte della Fm Noto ed è articolato in una porzione inferiore e in una superiore. La prima poggia sui blocchi in cui è dissecata la Fm Gela mentre la seconda giace sia sulla porzione inferiore del membro Mila sia sui sedimenti lagunari della Fm Noto. Nel lavoro di Frixia et al. (2000) il membro Mila è interpretato come un corpo che segnerebbe il passaggio laterale tra i sedimenti laminati depositi in un ambiente a bassa energia della Fm Noto e i depositi bacinale torbiditici della Fm Streppenosa. Tra il Retico superiore e l'Hettangiano in tutta l'area di Polpo e in quella di Noto avviene la deposizione della parte alta della Fm Streppenosa (membro intermedio e superiore).

Tra il Triassico medio – superiore e l'Hettangiano inferiore ha inizio una fase tettonica distensiva responsabile della formazione di un bacino in rapida subsidenza all'interno del quale avviene la deposizione prima della Fm Noto e poi della Fm Streppenosa; questa depressione è generata da faglie normali a direzione WSW – ENE e NW – SE cui è associata un'attività vulcanica fissurale. Questo bacino ha dei limiti ben precisi: a Nord attraversa l'onshore siciliano, a Sud passa nel Plateau di Ragusa e Malta mentre ad Est è troncato da faglie estensionali legate alla scarpata di Malta. L'abbassamento del fondo del mare provoca la formazione di un bacino al di sotto della zona fotica al cui interno avviene la deposizione di una successione torbiditica euxinica (Fm Streppenosa) potente più di 3000 metri (Antonelli et al, 1988), come visibile in Figura 2.5.

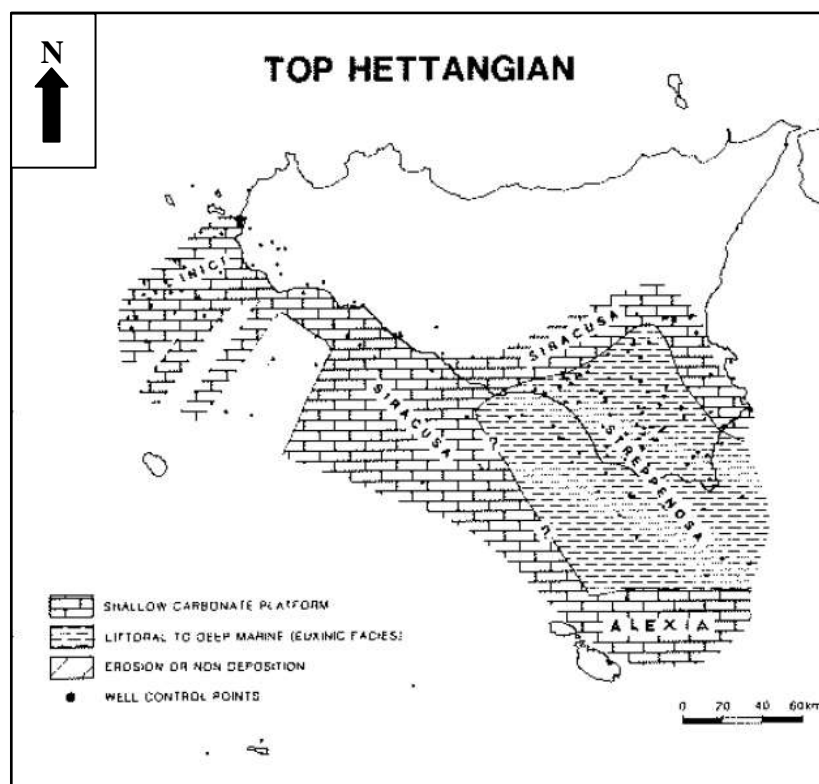


Figura 2.5: Condizioni paleogeografiche nell'Hettangiano da Antonelli et al. (1988)

La zona di Siracusa subisce un'evoluzione differente; in essa la subsidenza è molto ridotta perché bilanciata dalla deposizione di depositi di acque poco profonde e ben ossigenate. Nella zona di Siracusa avviene la sedimentazione dell'omonima formazione la quale, secondo Ronchi et al. (2000), prograda verso Est su un bacino con sedimentazione condensata. Questa migrazione verso Est avviene tra il Sinemuriano e il Lotharingiano per mezzo di una stretta fascia definita come zona di slope. Nella zona di Ragusa la sedimentazione prosegue con la deposizione della Fm Modica (Lotharingiano - Domeriano) la quale era attribuita da Rigo e Barbieri (1959) alla Formazione Villagonia (Liassico medio - superiore). Essa si estende in tutto il sottosuolo della zona di Ragusa (Figure 2.6 e 2.7).

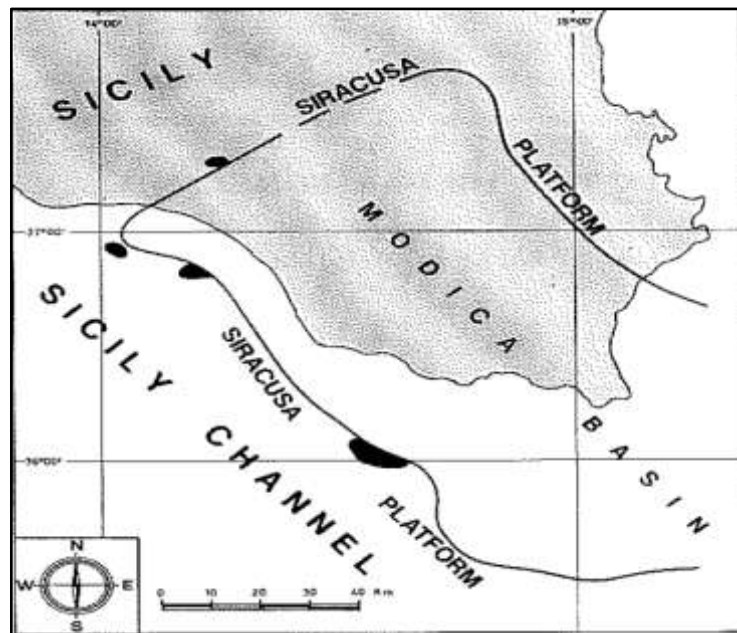


Figura 2.6: Questa immagine mostra le relazioni tra la piattaforma e il bacino durante la deposizione della Fm Modica. In nero sono rappresentati i giacimenti petroliferi riconosciuti nell'area da Ronco et al. (1990)

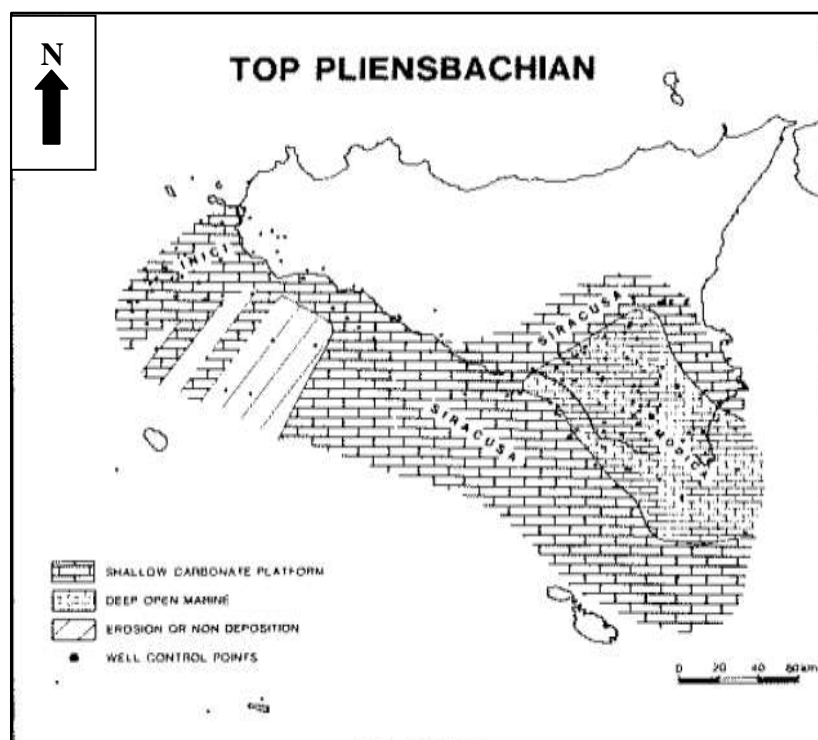


Figura 2.7: Condizioni paleogeografiche nel Pliensbachiano da Antonelli et al. (1988)

Nel Sinemuriano s. str. il bordo interno della piattaforma è attivato da faglie normali a direzione WSW – ENE, prima, e NW – SE, in seguito. L'attività tettonica sinsedimentaria prosegue fino al Domeriano e, alla base di un lungo slope, si accumulano i risedimenti

provenienti dalla piattaforma. Nella zona di Ragusa il limite tra il Sinemuriano e il Lotharingiano coincide con un cambio delle condizioni deposizionali manifestate da un'improvvisa diminuzione nel tasso di sedimentazione seguita dall'interruzione dell'apporto terrigeno da Sud e un aumento nel quantitativo di ossigeno nelle acque. Nel Lotharingiano terminata la sedimentazione della Fm Streppenosa, nella zona Iblea (onshore di Ragusa) si verifica lo spostamento delle facies bacinali verso Ovest al di sopra della piattaforma di Siracusa. Quest'ultima, dissecata in numerosi blocchi (a Ovest), è separata dal bacino, posto a Est, per mezzo di una scarpata stretta (1 – 1.5 km) (Figura 2.8). Lungo lo slope, lungo e stretto, si verificano numerosi fenomeni di crollo sinsedimentari.

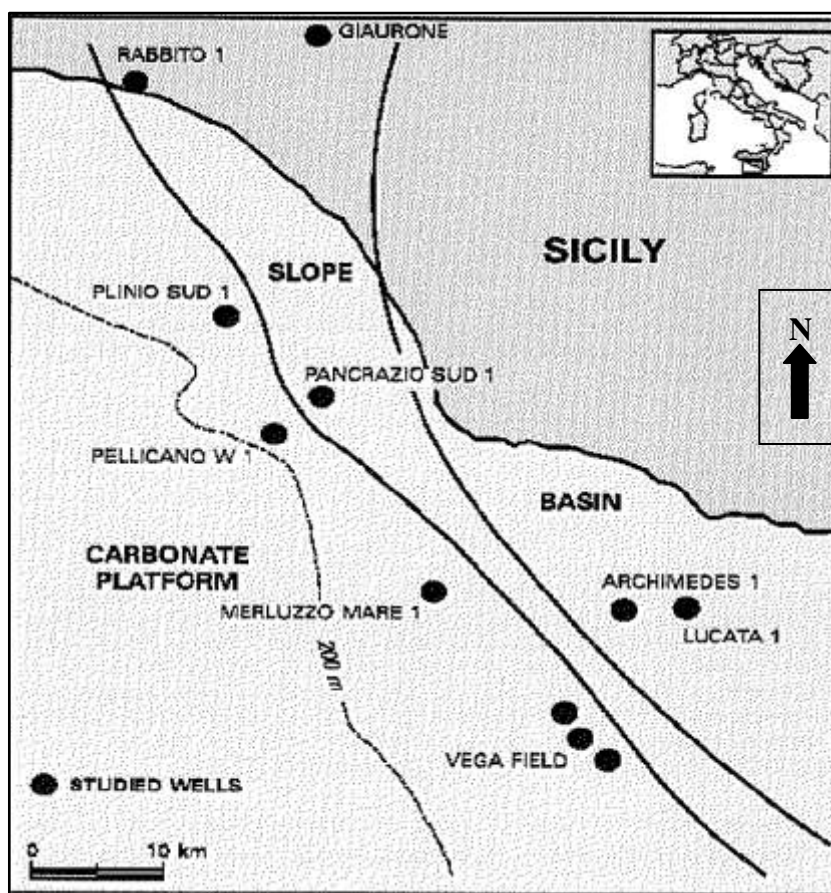


Figura 2.8: Riconoscimento di piattaforma carbonatica, slope e bacino nella Sicilia meridionale e nel suo offshore da Ronchi et al. (2000)

Dall'Hettangiano fino al Pliensbachiano i depositi della Fm Siracusa progradano sul lato meridionale del bacino di Streppenosa; nei settori nord-orientali, invece, prosegue la deposizione delle facies bacinali della Fm Modica.

Il top della piattaforma carbonatica, nel Sinemuriano, è dissecato dai dicchi neptuniani contenenti al loro interno riempimenti polifasici di brecce (Figura 2.9 B). Il materiale

contenuto in queste fratture conserva le informazioni relative agli ambienti marini succedutisi sulla piattaforma tra il Sinemuriano e il Bajociano (Ronchi et al., 2000).

Nell'area di Ragusa, nel Pliensbachiano, si instaurano condizioni di mare aperto e profondo ed ha inizio la deposizione della Fm Modica (Figura 2.9 C) seguiti dalle marne di età Toarciano medio – Bajociano; queste ultime si depongono sia sulla Fm Modica sia sulla piattaforma carbonatica (Figura 2.9 D).

Solo alla fine del Domeriano (Pliensbachiano superiore) l'intera zona siracusana, dissecata da numerose faglie, sprofonda al di

sotto della zona fotica e, da questo momento in poi, la distinzione tra il dominio ragusano e quello siracusano diventa più sfumata (Patacca et al., 1979).

Al di sopra della Fm Modica si depone, tra il Toarciano e il Titoniano inferiore, la Fm Bucchieri chiamata, dai geologi del petrolio, Fm Giardini (Figura 2.10). Essa giace al di sotto della Fm Chiaramonte dalla quale è separata da un limite gradazionale e poggia al di sopra della Fm Modica tramite un limite netto. Quest'ultimo non è uguale in tutta l'area di Ragusa, infatti, in alcuni pozzi i depositi della Fm Bucchieri poggiano tramite una discordanza sulla Fm Siracusa.

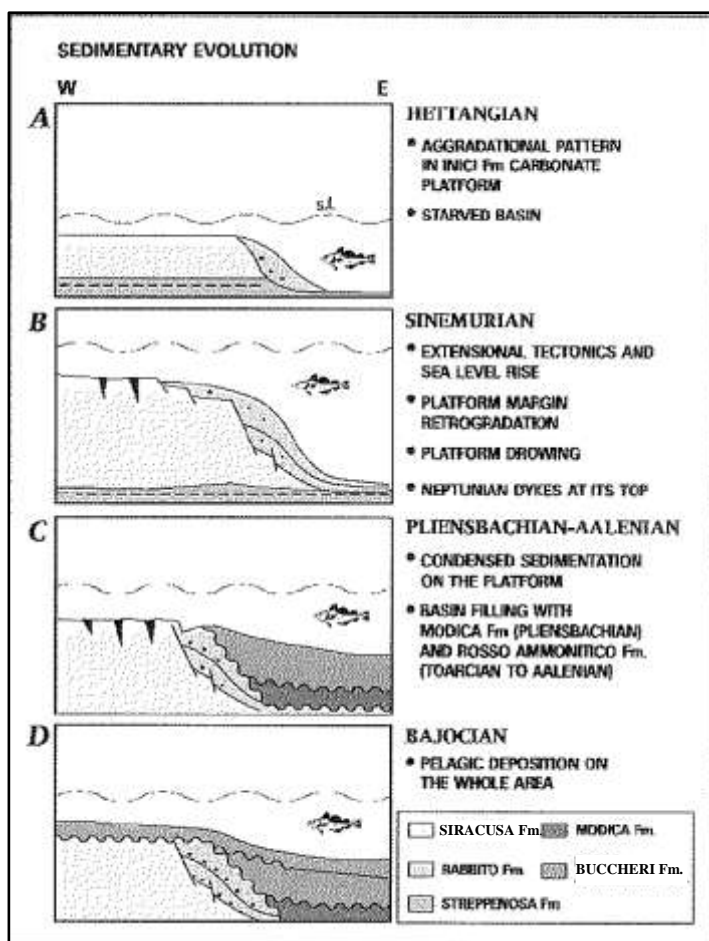


Figura 2.9: Evoluzione geologica di una sezione orientata W - E tra l'Hettangiano e il Bajociano modificato da Ronchi et al. (2000).

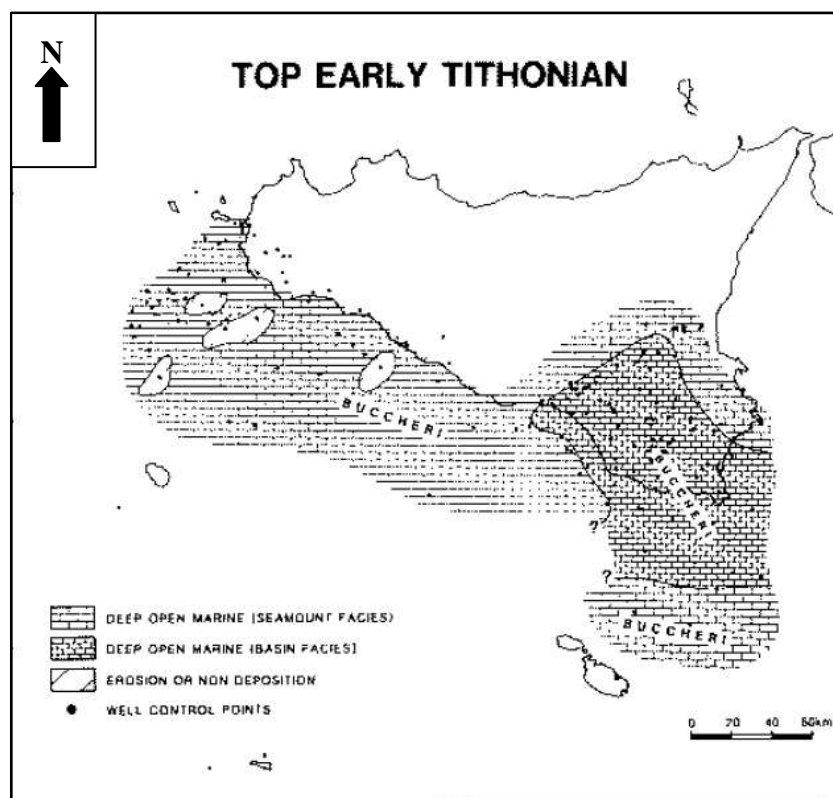


Figura 2.10: Condizioni paleogeografiche nel Tithoniano inferiore da Antonelli et al. (1988)

Nell'area studiata, la presenza di numerosi corpi vulcanici provocano significative variazioni verticali di facies responsabili di improvvise o graduali modificazioni della topografia del fondo del mare. Questo cambiamento da depositi bacinali a depositi pelagici condensati può essere legato, sia dalla presenza di edifici vulcanici sia dalla presenza di rilievi locali (per esempio alti morfologici) antecedenti l'attività vulcanica e legati alla tettonica distensiva.

Nel Toarciano – Bathoniano si ha un periodo di quiescenza tettonica. Si riconoscono ancora i trend a direzione WSW – ENE i quali influenzano l'orientamento degli assi dei bacini sedimentari.

Dall'offshore di Trapani fino all'isola di Malta si impostano condizioni carbonatiche di mare profondo ed inizia la sedimentazione della Fm Bucchieri. Durante il Toarciano – Bathoniano è ancora riconoscibile il top della piattaforma Siracusa poiché nella zona di Siracusa ha avuto luogo o una fase di non deposizione o una di erosione sottomarina.

Nel Bajociano ha inizio la deposizione dei sedimenti pelagici su tutta l'area (Figura 2.9 D). Alla fine del Giurassico medio riprende l'attività tettonica sinsedimentaria e il connesso vulcanismo sottomarino. Si origina un nuovo trend di faglie normali a direzione WSW – ENE le quali si propagano sia lungo la scarpata sia nella parte settentrionale del bacino (seconda fase tettonica) generando l'annegamento della piattaforma liassica (Ronco et al., 1990). In corrispondenza di questi nuovi lineamenti si impostano imponenti edifici vulcanici la cui

attività vulcanica persiste fino all'inizio del Kimmeridigiano. La deposizione di tipo sea – mount condensata prevale nei settori occidentali e meridionali dell'area mentre nella zona di Ragusa e nell'offshore ragusano (zona di Aretusa: in prossimità dell'omonimo pozzo visibile in Figura 1.3) avviene la deposizione di una potente sequenza bacinale.

Nel Giurassico medio la fisiografia del fondo del mare è articolata in alti e bassi morfologici i quali influenzano la ripresa della sedimentazione nel Giurassico superiore.

I geologi del petrolio, al di sopra della Fm Giardini (definita Fm Buccheri nella classificazione introdotta da Patacca et al., 1979), definiscono la Formazione Alcamo suddivisa al suo interno in tre membri: membro Busambra, membro Hybla e membro Amerillo. La nuova nomenclatura introdotta nel 1979 da Patacca et al. attribuisce i tre membri alle seguenti formazioni: Fm Chiaramonte, Fm Hybla e Fm Amerillo.

La prima di queste formazioni, di età Titoniano superiore – Hauteriviano inferiore è perforata da tutti i pozzi presenti nella Sicilia meridionale ad eccezione del pozzo Pozzillo 1.

La deposizione prosegue con la sedimentazione della Fm Hybla (Hauteriviano superiore – Albiano p.p.) presente in tutta la zona di Ragusa (Figura 2.11). Il suo spessore varia da 10 – 20 metri fino a 300 metri. Entrambi i limiti di questa successione sono netti e separano la Fm Hybla dalla sottostante Fm Chiaramonte e dalla soprastante Fm Amerillo.

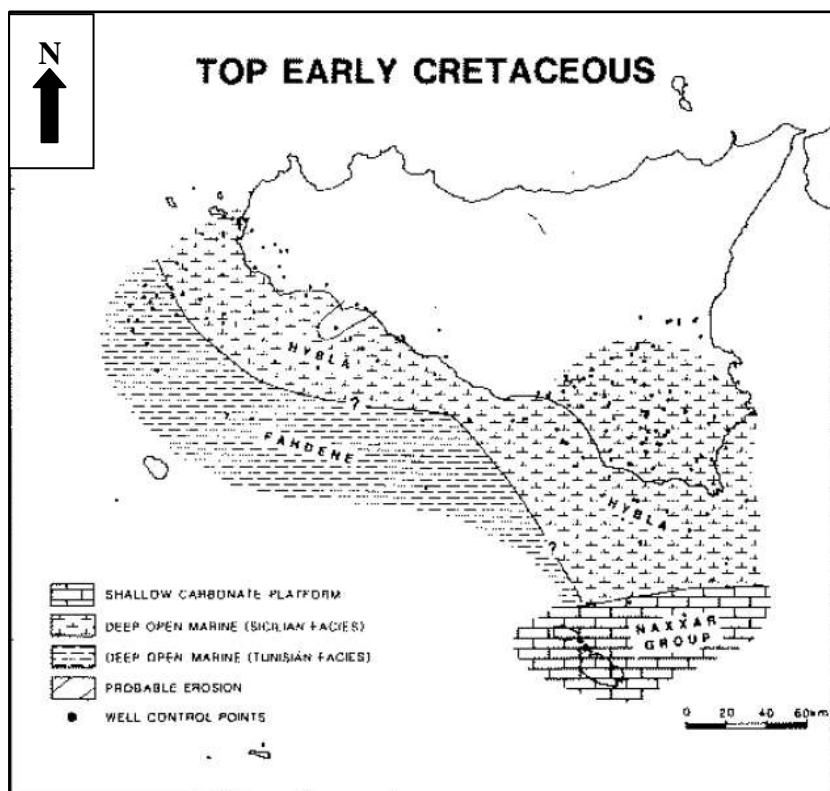


Figura 2.11: Condizioni paleogeografiche nel Cretaceo inferiore da Antonelli et al. (1988)

All'inizio del Titoniano termina l'attività vulcanica e non sono più riconoscibili i segni di un'attività tettonica sinsedimentaria.

Tra il Titoniano e il Turoniano la zona di Ragusa subisce una leggera subsidenza manifestata dalla graduale apertura di una zona bacinale, localizzata al centro dell'area. La migrazione delle facies verso il margine esterno della zona di Ragusa porta ad una sedimentazione uniforme di depositi argillosi in tutta l'area nell'Hauteriviano (Patacca et al., 1979). Le litologie riconosciute nel bacino appena formatosi mostrano condizioni riducenti e episodi periodici di stagnazione. A partire dall'Albiano, in tutto il bacino, si reimpostano buone condizioni di ossigenazione.

Nell'onshore di Ragusa, tra il Titoniano e l'Albiano p.p riprende la deposizione delle potenti successioni di calcari bacinali in condizioni di mare profondo delle Formazioni Chiaramonte e Hybla (Figura 2.11) al cui interno sono riconoscibili eventi anossici. Dal Turoniano riprende l'attività tettonica documentata dalla messa in posto di nuovi corpi vulcanici.

Tra l'Albiano p.p. e il Maastrichtiano, in tutta la zona di Ragusa, avviene la deposizione della Fm Amerillo corrispondente a quello che i geologi del petrolio chiamavano il membro Amerillo della Fm Alcamo (Figura 2.12).

Nella zona di Ragusa, tra il Turoniano e il Senoniano, ha inizio una nuova attività tettonica documentata dalla messa in posto di torbiditi calcaree. Questa consiste nella terza fase tettonica in cui si genera un nuovo trend di faglie a direzione SW – NE e il tilting dell'area di studio verso NW e verso SE. Con la ripresa dell'attività tettonica si originano nuovi edifici vulcanici e su alcuni di questi, con il raggiungimento della zona fotica, si impostano scogliere a rudiste. Evidenze dell'intensa attività sono presenti sia nell'onshore della Sicilia sia offshore con la messa in posto di potenti sequenze vulcaniche responsabili della formazione di alti morfologici.

Dal tardo Cretaceo (Campaniano - Maastrichtiano) si registra un'intensificazione della terza fase tettonica (iniziata nel Turoniano) documentata dalla frequenza di slumps e di altri flussi gravitativi. Evidenze dell'instabilità tettonica sono testimoniate da grossi scivolamenti gravitativi di sedimenti carbonatici all'interno delle sequenze paleoceniche ed eoceniche riconoscibili nella zona ragusana (Patacca et al., 1979). In questa evoluzione tettonica è riconoscibile il sollevamento dell'area accompagnato da una riduzione nella sedimentazione e fenomeni di risedimentazione e di erosione sottomarina.

Tra il Paleocene e l'Eocene nei settori più orientali dell'offshore di Ragusa si instaurano condizioni di piattaforma carbonatica aperta poco profonda e di scarpata con la deposizione della Fm Monti Climiti; fino al Cretaceo superiore, verso Occidente, prosegue la deposizione della Fm Amerillo.

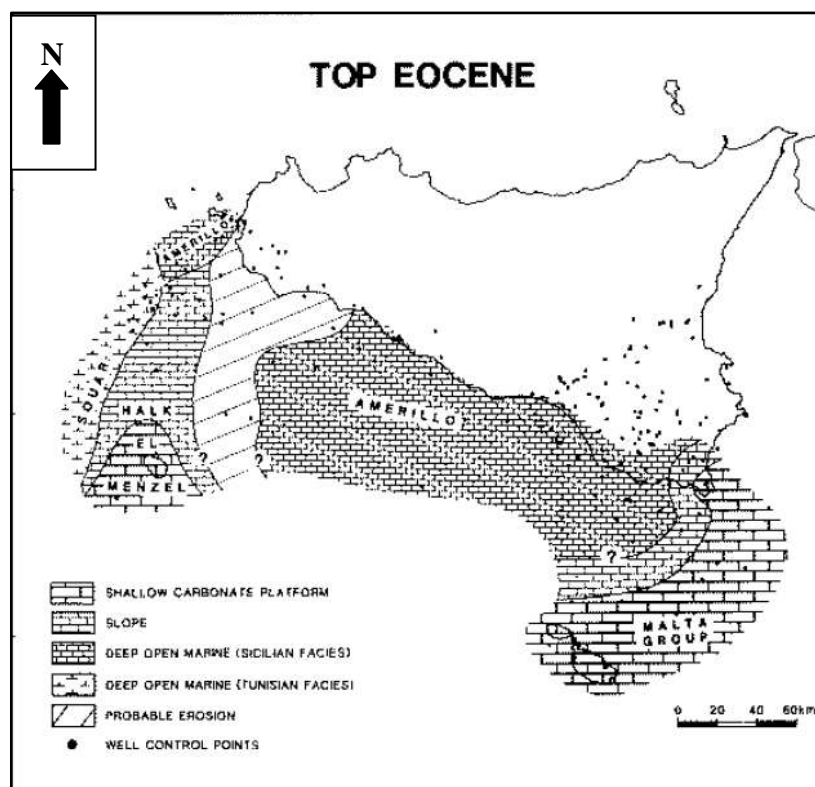


Figura 2.12: Condizioni paleogeografiche nell'Eocene da Antonelli et al. (1988)

Al di sopra della Fm Amerillo, in tutta la zona di Ragusa, la sedimentazione prosegue con la deposizione della Fm Ragusa.

Nell'Oligocene inferiore – medio, sul lato occidentale del Canale di Sicilia, si verifica un evento paleogeografico a grande scala rappresentato da una fase di sollevamento e di emersione di un'ampia regione (Alto di Mazara - Sciacca) orientata NNE – SSW e localizzata nell'Adventure Bank (porzione centrale del Canale di Sicilia). Nello stesso intervallo di tempo l'area dei Monti Iblei è interessata da due diverse sedimentazioni: ad Est proseguono le condizioni di piattaforma aperta con la deposizione della Fm Monti Climiti la quale prosegue fino al Tortoniano, mentre ad W, tra il tardo Oligocene e il Miocene inferiore ha inizio la deposizione dei carbonati di piattaforma profonda attribuiti al membro Leonardo della Fm Ragusa (Figura 2.13).

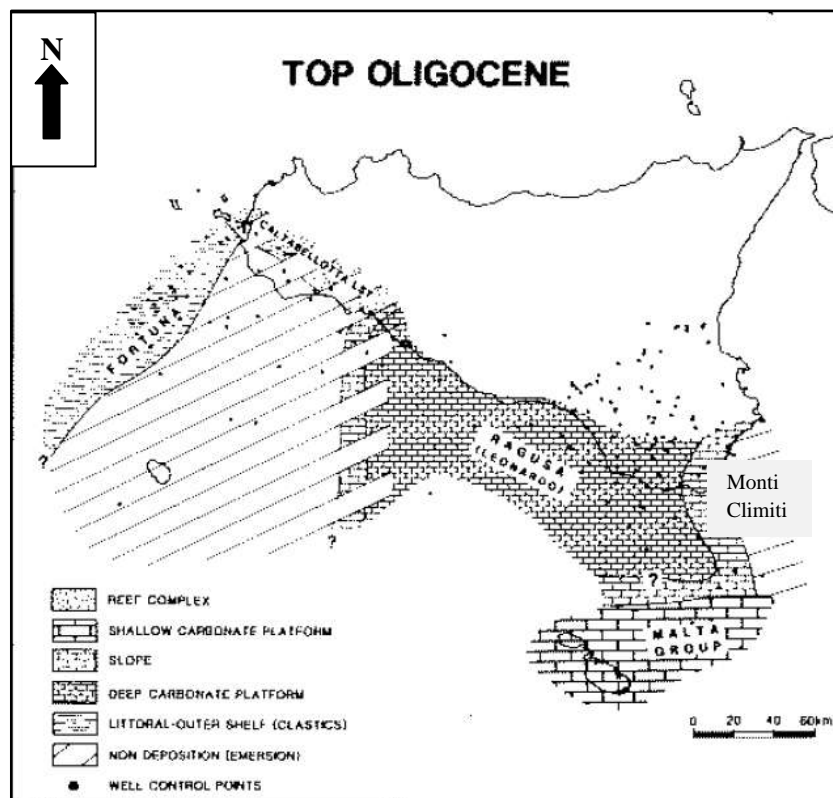


Figura 2.13: Condizioni paleogeografiche nell'Oligocene da Antonelli et al. (1988)

Dall'Oligocene superiore fino al Tortoniano – Messiniano p.p. l'alto di Mazara – Sciacca agisce da divisorio tra i depositi carbonatici di piattaforma profonda della zona Iblea (a Sud-Est) e la deposizione clastica a Nord dell'Adventure Bank (porzione centrale del Canale di Sicilia). Nella porzione orientale dell'area Iblea, nell'Oligocene superiore, prosegue la deposizione della Fm Monti Climiti con condizioni di scarpata carbonatica e di piattaforma poco profonda.

Dall'Aquitano fino al Langhiano, nella porzione occidentale dell'area di Ragusa, la sedimentazione continua con la deposizione del membro Irmino della Fm Ragusa (Figura 2.14).

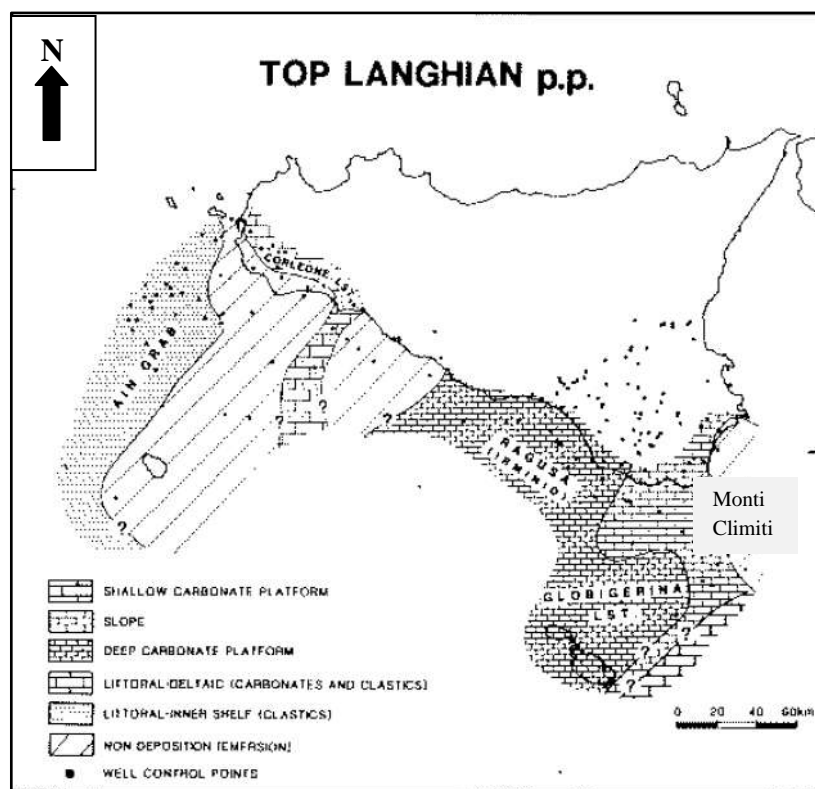


Figura 2.14: Condizioni paleogeografiche nel Langhiano da Antonelli et al. (1988)

Dal Miocene inferiore – medio, solo nel settore orientale dell'area Iblea si instaurano condizioni di mare poco profondo.

Dal Langhiano inferiore fino al Messiniano, nella porzione occidentale dell'area di Ragusa, ha inizio la deposizione della Fm Tellaro. Tra il Tortoniano e il Messiniano p.p. è possibile distinguere due diverse evoluzioni a cui è soggetto il Canale di Sicilia:

- Nel settore occidentale si registra un brusco cambiamento paleogeografico, si ha la messa in posto del segmento occidentale della catena Siculo – Maghrebide e avviene lo smembramento dell'Alto di Mazara – Sciacca e successivo annegamento.
- Il settore orientale costituisce l'avampaese stabile. Nella porzione occidentale dell'area Iblea persiste la deposizione delle marne della Fm Tellaro in un ambiente carbonatico di piattaforma profonda mentre verso l'isola di Malta ha inizio una fase regressiva con condizioni carbonatiche di mare poco profondo (Antonelli et al., 1988) come visibile nelle Figure 2.15 (nel Serravalliano) e 2.16 (nel Messiniano prima della deposizione dei gessi).

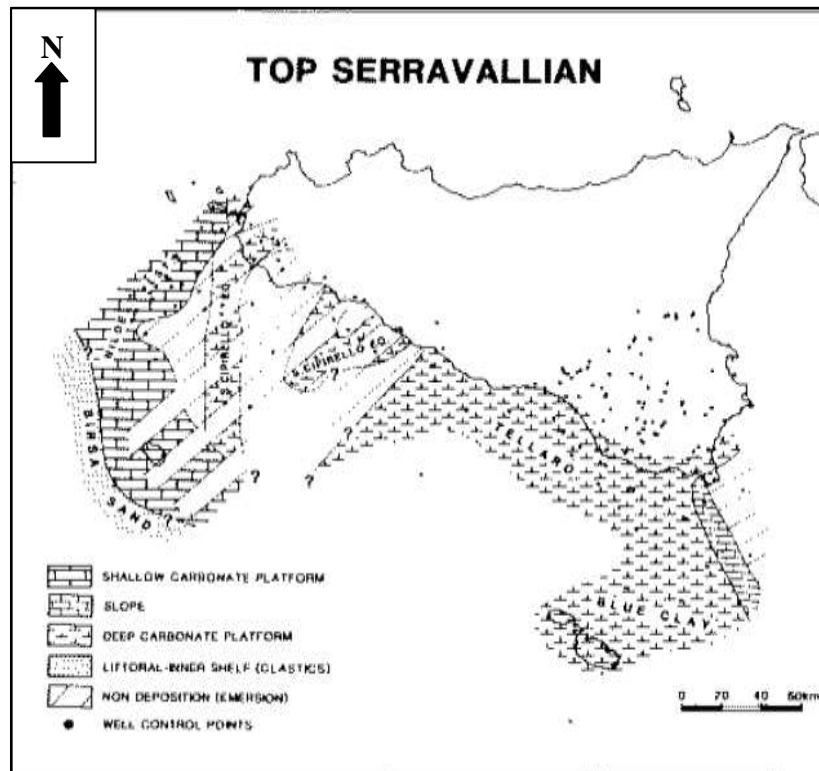


Figura 2.15: Condizioni paleogeografiche nel Serravalliano da Antonelli et al. (1988)

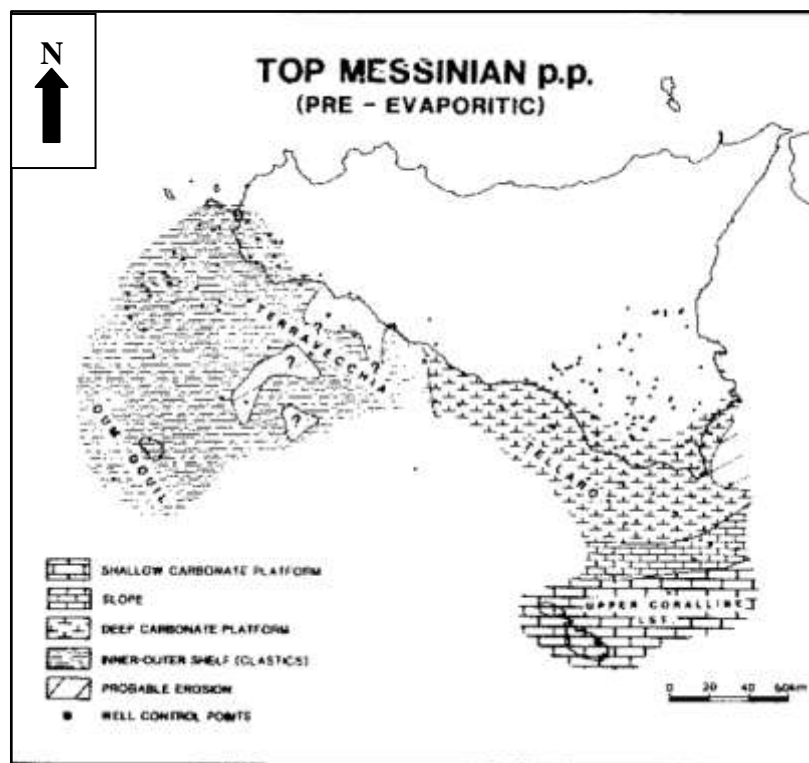


Figura 2.16: Condizioni paleogeografiche nel Messiniano prima della deposizione della Fm Gessoso Solifera da Antonelli et al. (1988)

Nel Messiniano, dopo la chiusura dello Stretto di Gibilterra, l'aumento della salinità provoca la deposizione delle evaporiti della Fm Gessoso Solfifera.

Al di sopra di questi depositi evaporitici, tra il Pliocene inferiore e il Pleistocene, si depositano i sedimenti quaternari.

Nel Pliocene inferiore ha inizio la quarta ed ultima fase tettonica responsabile del tilting dell'intera area verso SW accompagnata da movimenti di strike – slip, responsabili della formazione di faglie inverse a direzione NW – SE; questi lineamenti, con carattere sia transpressivo sia transtensionale, dissecarono l'intera struttura in quattro blocchi.

L'attività tettonica riconosciuta in tutto il Canale di Sicilia è diacrona ed ha agito con diversi trend. Per questo motivo Antonelli et al. (1988) hanno suddiviso l'area in quattro settori a seconda della diversa evoluzione che ha subito ognuno di essi:

- Una prima zona in cui passa il segmento occidentale costituente il prolungamento offshore della catena Siculo – Maghrebide affiorante nella Sicilia occidentale;
- Un settore in cui si trova il segmento orientale della catena rappresentato dalla falda di Gela la quale è ampiamente sviluppata nell'onshore e il suo fronte esterno attraversa l'offshore di Agrigento e Caltanissetta;
- Un'area caratterizzata da faglie trascorrenti localizzata nella porzione centrale del Canale di Sicilia in corrispondenza dell'alto di Mazara – Sciacca;
- Un'area di avampaese indeformato estesa dall'offshore di Agrigento fino all'isola di Malta. In questo settore la deformazione di età pliocenica e quaternaria porta alla creazione di un sistema di faglie transtensionali a Sud e a movimenti di assestamento della falda di Gela a Nord. Nell'avampaese l'attività distensiva ha avuto inizio nel Pliocene inferiore, ma i suoi effetti meglio visibili risalgono al Quaternario e coinvolgono principalmente i settori offshore. Nella Sicilia meridionale la fase di rifting è ristretta al solo Pliocene ed è seguita dalla messa in posto dell'avanfossa di Gela.

C. Evoluzione tettonica

La Sicilia, l'isola più grande dell'Italia, è localizzata al centro del Mar Mediterraneo sulla placca Nubiana in prossimità di un punto triplo dato dall'intersezione di questo margine di placca con la microplacca Adria, posta a NNE, e con la placca Euroasiatica a NNW. Come visibile nella Figura 18, il margine di placca Nubiana è coinvolto in due diverse evoluzioni: verso NNE, al passaggio con la microplacca Adria, c'è un margine di tipo divergente mentre

verso NNW, tra la placca Nubiana e la placca Euroasiatica, si trova un margine convergente; in corrispondenza di quest'ultimo ha origine la catena Siculo – Maghrebide, SE vergente, la quale si propaga al di sopra del Blocco Pelagiano, esteso dal Canale di Sicilia fino alla Tunisia e facente parte della placca Nubiana. Essa è generata dalla tettonica di inversione del margine continentale passivo (Figura 2.17).

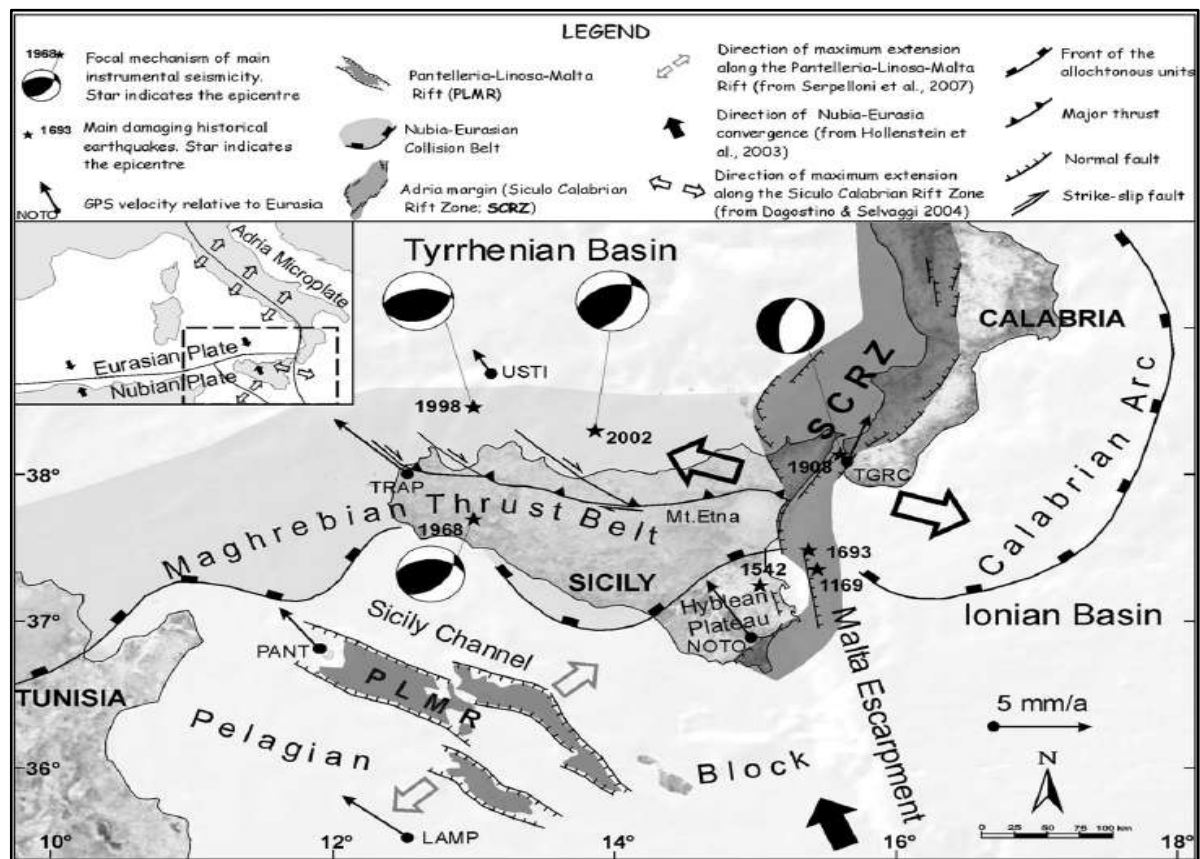


Figura 2.17: Lineamenti tettonici riconosciuti in Sicilia da Catalano et al. (2008)

Le informazioni relative alle strutture tettoniche presenti nel blocco Ibleo e nel Canale di Sicilia provengono dal lavoro di Catalano et al. (2008) nel quale gli autori, sulla base delle informazioni a loro disposizione, ricercano un modello funzionale in grado di spiegare il ruolo dell'offshore della Sicilia meridionale come un settore di avampaese stabile nell'evoluzione dell'intera area.

Le strutture tettoniche di notevole rilevanza, riconosciute nella porzione sudorientale della Sicilia e visibili in Figura 17, sono due: la SCRZ (Siculo – Calabrian Rift Zone) e il PLMR (Rift di Pantelleria – Linosa - Malta). La prima consiste in una struttura a forma di arco e ricalca l'andamento della zona assiale dell'intera penisola italiana; si estende dalla Calabria meridionale, attraverso il Mar Ionio, fino alla Sicilia sudorientale. Le faglie riconosciute all'interno di questo settore, tutte risalenti al Quaternario, hanno trend variabili da NNE a NE nelle zone meridionali della Calabria (Figura 19 lettere *a* e *b*), a NNW nell'offshore ionico

(Figura 19 lettere *c*, *d* ed *e*), per ritornare a direzione NE nella Sicilia sudorientale (Figura 19 lettere *f* e *g*). La seconda struttura (PLMR) è una struttura distensiva originatasi all'interno del margine Nubiano dalla frammentazione del Blocco Pelagiano. Essa, a direzione NW – SE, è localizzata tra il Canale di Sicilia e la Tunisia.

Un'analisi di maggiore dettaglio del solo blocco Ibleo mostra come nel Quaternario, si siano sviluppate due strutture estensionali (Figura 2.18):

- la prima, sviluppata lungo la costa ionica, corrisponde alla Faglia di Avola; essa, con direzione NE – SW, consiste nel lineamento più meridionale della SCRZ;
- la seconda, facente anche essa parte della medesima struttura, è nota in letteratura come Faglia di Rosolini, Ispica e Pozzallo; ha direzione NE – SW ed è composta da tre distinti sistemi en – echelon.

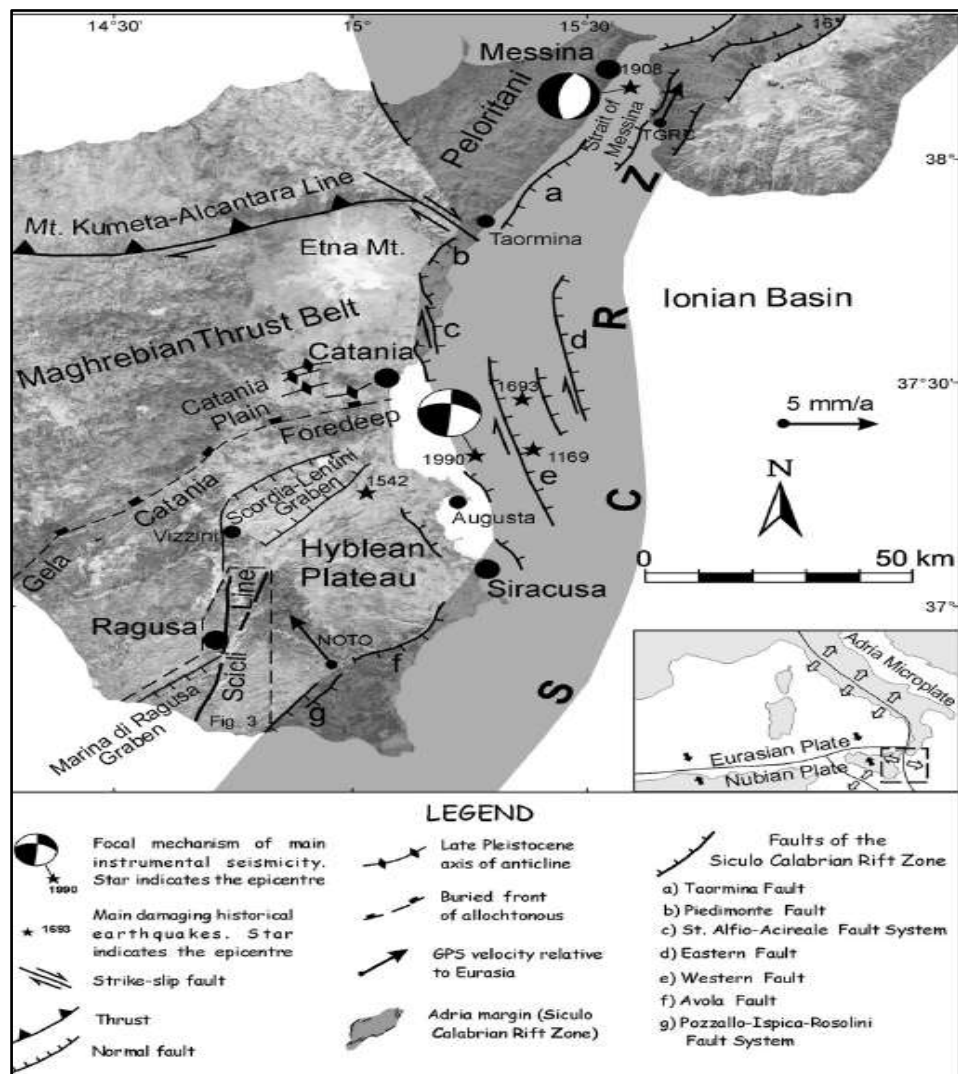


Figura 2.18: Dettaglio della SCRZ estesa dalla Calabria meridionale alla Sicilia meridionale passando attraverso il mar Ionio da Catalano et al. (2008)

Il margine settentrionale (sulla costa ionica) e quello meridionale della zona onshore di Ragusa sono soggetti a tettonica estensionale, a direzione NNE – SSW. Qui sono stati

riconosciuti due graben collegati dalla Scicli Line. Il primo, a direzione NE – SW, è noto come Graben di Scordia – Lentini mentre il secondo, con il medesimo andamento del primo, è il Graben di Marina di Ragusa. La Scicli Line consiste in una superficie di faglia trascorrente estesa dal comune di Vizzini (Ct) fino alla frazione di Cava d'Aliga (Rg) passando per l'abitato di Ragusa; tale superficie di faglia è articolata in 4 segmenti en – echelon tutti a direzione N 10. Grasso e Reuther (1988) nei loro studi sulla Scicli Line, considerando anche una deformazione di tipo strike – slip, ipotizzarono la riattivazione di una faglia di età Cretaceo – Triassico superiore.

Catalano et al. (2008) nel loro lavoro misero in evidenza che la mancanza di informazioni offshore non consentiva il proseguimento di questa superficie di faglia (Scicli Line) verso Sud. Nemmeno gli studi effettuati sulla morfologia del fondo marino a partire da dati sismici offshore di Cava d'Aliga, effettuati da Grasso (1999) consentirono di riconoscere l'andamento della Scicli Line nell'offshore ragusano.

Studi più recenti effettuati da Bousquet e Lanzaframe (2004) e da Catalano et al. (2006) dimostrarono che le faglie normali presenti ai bordi dei Graben di Marina di Ragusa e di Scordia – Lentini, come anche i segmenti della Scicli Line, subirono una parziale riattivazione con movimento sinistro.

Prima dell'inizio della tettonica d'inversione, sulla base dei modelli geologici più recenti (Reuther e Eisbacher, 1985; Reuther, 1990; Boccaletti et al., 1987), è possibile affermare che la Scicli Line ha giocato il ruolo di faglia trascorrente. Essa si è propagata tra il Neogene e il Quaternario per accomodare l'estensione che ha coinvolto il Canale di Sicilia verso NE. Sulla base di questi studi i due graben posti a Nord e a Sud di questo lineamento (rispettivamente il Graben di Marina di Ragusa e quello di Scordia – Lentini) rappresentano gli horse tail sviluppatisi in corrispondenza delle terminazioni della faglia trascorrente destra.

I dati strutturali e morfologici raccolti da Catalano et al. (2008) lungo la Scicli Line indicano che questa zona di taglio ha agito in due momenti diversi con direzioni opposte. Contemporaneamente all'evoluzione del paesaggio si è sviluppata prima una *shear zone* di tipo destro, seguita dallo sprofondamento del plateau Ibleo nel Graben di Marina di Ragusa. All'interno di questo basso morfologico avvenne la deposizione di sedimenti marini di trasgressione di età compresa tra 1.5 e 1.2 milioni di anni. La fine dell'attività tettonica della Scicli Line è correlabile con la fine della subsidenza all'interno del graben e l'inizio del terrazzamento di depositi marini di circa 850 mila anni. Infine una tettonica d'inversione ha riattivato la Scicli Line con movimento sinistro; la ripresa di questa deformazione ha coinvolto sia i depositi marini terrazzati sia i sistemi di drenaggio attivi pliocenici.

3. Dati geofisici

L'obiettivo di questo capitolo è quello di raccogliere e catalogare il maggior numero di informazioni riguardanti le linee sismiche e i 16 pozzi.

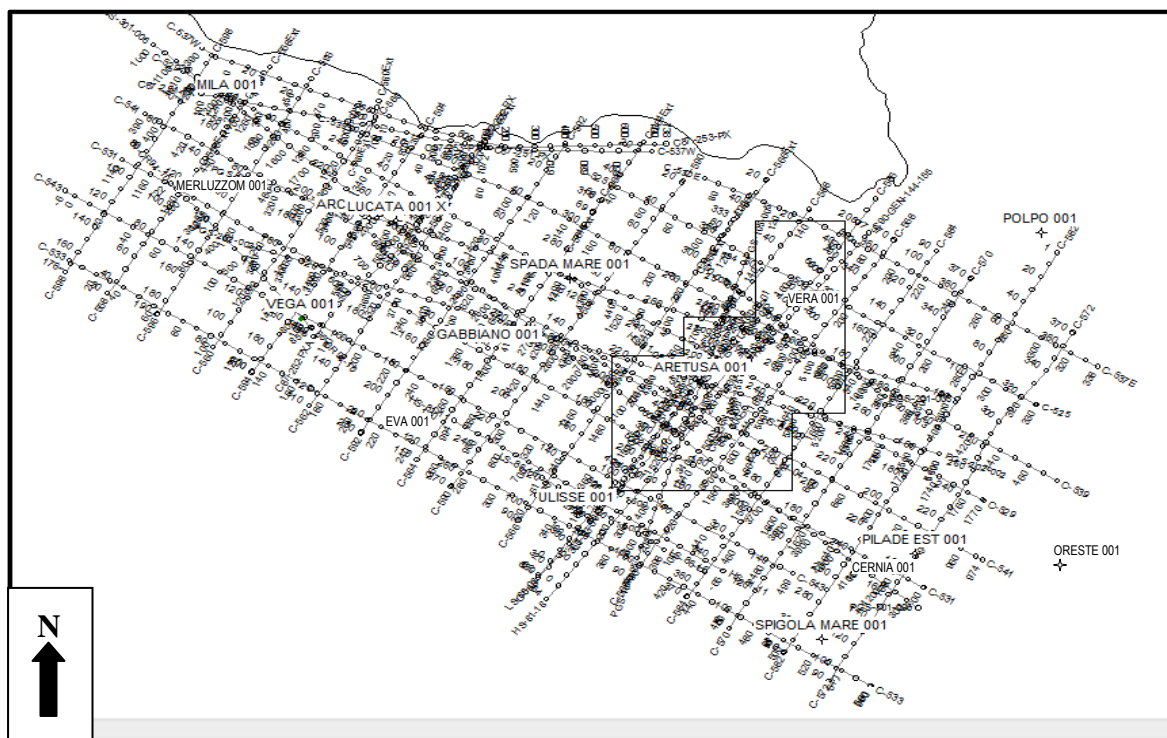


Figura 3.1: Carta di base utilizzata per il lavoro di tesi; in essa sono contenute tutte le linee sismiche in formato digitale e i nomi di tutti e 16 i pozzi.

Linee sismiche

La tabella all'interno della quale si desidera raccogliere tutti i dati disponibili relativi alle linee sismiche, è realizzata aprendo il software Kingdom 8.2 ed esportando, ad una ad una, tutte le linee sismiche in formato SegY. Terminata questa fase si procede all'apertura e alla visualizzazione delle sezioni sismiche con il programma SeiSee il quale consente di leggere le Header relative ad ognuno dei profili sismici. Le informazioni disponibili sono le seguenti:

- nome della sezione sismica;
- compagnia di servizio che ha effettuato l'acquisizione;
- numero di tracce;
- numero di campioni per traccia;
- sezione migrata o stack;
- spettro di frequenza medio o di ogni singola traccia espresso in Hz.

Riguardo l'ultima voce dell'elenco si è scelto di inserire nella tabella due colonne (ottava e nona): la prima è relativa allo spettro medio dell'intera sezione sismica mentre la seconda contiene le informazioni riguardanti l'omogeneità dello spettro; questa omogeneità è definita

mettendo a confronto lo spettro di due tracce all'inizio della sezione, di due nella parte centrale e di altre due in quella finale con lo spettro medio dell'intera linea sismica. Le risposte inserite nell'ultima colonna e relative all'omogeneità dello spettro possono essere due: Sì/ No. Laddove nella riga si trovi una risposta affermativa (Sì), significa che lo spettro di ogni traccia scelta in modo casuale, confrontato con lo spettro medio dell'intera sezione, sono simili o addirittura identici, mentre quando la risposta è negativa (No) significa che, anche in una sola delle tre porzioni della linea sismica, gli spettri non si assomigliano.

I dati inseriti nella terza colonna della tabella provengono dall'utilizzo del software Kingdom che, per mezzo del comando Ruler, consente di misurare la lunghezza di ognuno dei profili.

I valori contenuti nella sesta colonna provengono dal rapporto tra il numero di tracce (quarta colonna) e la lunghezza di ognuna linea sismica (terza colonna) e sono espressi in numero di tracce per chilometro.

In questa tabella è inoltre possibile notare che le uniche linee sismiche migrate sono quelle acquisite e processate dalla compagnia Fugro mentre tutte le altre consistono in linee stack.

Nomi Linee	Autore	Lunghezza (m)	Numero di tracce	Numero di campioni per traccia	Numero di tracce per km	Migrata/stack	Spettro medio (Hz)	Omogeneità
86-CR94-10	Linea scannerizzata	16'943	1469	1501	87	Stack	7 - 25	No
C-525	Linea scannerizzata	41'253	1182	1276	29	Stack	10 - 27	Sì
C-529	Linea scannerizzata	78'607	2244	1251	29	Stack	12 - 27	Sì
C-531	Linea scannerizzata	78'363	2243	1276	29	Stack	10 - 26	Sì
C-533	Linea scannerizzata	78'585	2240	1276	29	Stack	13 - 29	Sì
C-537E	Linea scannerizzata	23'810	1071	1276	45	Stack	10 - 24	No
C-537W	Linea scannerizzata	40'040	1121	1276	28	Stack	13 - 27	Sì
C-539	Linea scannerizzata	69'029	1941	1276	28	Stack	10 - 28	Sì
C-541	Linea scannerizzata	81'595	2340	1251	29	Stack	14 - 28	No
C-543	Linea scannerizzata	70'899	2022	1251	29	Stack	13 - 27	Sì
C-558	Linea scannerizzata	21'422	619	1251	29	Stack	13 - 30	Sì
C-558Ext	Linea scannerizzata	6'792	194	1276	29	Stack	12 - 32	Sì
C-560	Linea scannerizzata	26'518	744	1251	28	Stack	10 - 26	Sì
C-560Ext	Linea scannerizzata	4'093	104	1276	25	Stack	12 - 26	Sì
C-562	Linea scannerizzata	24'909	700	1276	28	Stack	12 - 25	Sì
C-562Ext	Linea scannerizzata	6'112	174	1251	28	Stack	13 - 27	Sì
C-564	Linea scannerizzata	29'589	836	1276	28	Stack	13 - 25	Sì
C-564Ext	Linea scannerizzata	8'275	226	1276	27	Stack	13 - 27	Sì
C-566	Linea scannerizzata	34'385	974	1276	28	Stack	14 - 24	Sì
C-566Ext	Linea scannerizzata	6'821	182	1276	27	Stack	11 - 31	Sì
C-568	Linea scannerizzata	39'121	1124	1276	29	Stack	12 - 25	Sì
C-570	Linea scannerizzata	39'246	1124	1251	29	Stack	15 - 26	Sì
C-572	Linea scannerizzata	39'548	1124	1276	28	Stack	14 - 25	No
C-582	Linea scannerizzata	45'058	1280	1251	28	Stack	11 - 23	No
C-584	Linea scannerizzata	39'396	1124	1251	29	Stack	10 - 28	Sì
C-586	Linea scannerizzata	46'208	1318	1276	29	Stack	11 - 23	Sì

C-588	Linea scannerizzata	13'164	370	1251	28	Stack	13 - 27	No
C-590	Linea scannerizzata	35'152	1009	1276	29	Stack	13 - 26	Sì
C-592	Linea scannerizzata	32'874	923	1251	28	Stack	11 - 27	Sì
C-594	Linea scannerizzata	27'597	787	1276	29	Stack	12 - 25	Sì
C-596	Linea scannerizzata	26'034	747	1251	29	Stack	12 - 29	No
C-598	Linea scannerizzata	24'269	695	1276	29	Stack	11 - 30	Sì
C87-251-PX	Linea scannerizzata	24'388	1946	1251	80	Stack	5 - 27	No
C87-252-PX	Linea scannerizzata	9'155	713	1251	78	Stack	7 - 30	Sì
C87-252-PXA	Linea scannerizzata	14'877	1162	1251	78	Stack	8 - 22	Sì
C87-253-PX	Linea scannerizzata	15'162	1203	1251	79	Stack	7 - 27	No
C90-0103	Linea scannerizzata	16'225	800	1251	49	Stack	8 - 24	Sì
C90-GEN-144-155	Linea scannerizzata	17'714	869	1251	49	Stack	7 - 20	Sì
HS-81-02	Linea scannerizzata	9'113	361	826	40	Stack	7 - 24	Sì
HS-81-04	Linea scannerizzata	18'242	728	1501	40	Stack	8 - 20	Sì
HS-81-11	Linea scannerizzata	26'804	1060	1501	40	Stack	7 - 20	Sì
HS-81-18	Linea scannerizzata	28'508	1139	1501	40	Stack	7 - 19	Sì
LS-86-03	Linea scannerizzata	27'812	2082	1501	75	Stack	8 - 28	Sì
LS-86-16	Linea scannerizzata	12'465	921	1501	74	Stack	7 - 22	Sì
LT-83-01	Linea scannerizzata	21'377	1714	1501	80	Stack	5 - 23	Sì
PGS-105-005	Fugro	30'121	2390	2305	79	Migrata	5 - 28	No
PGS-202-002	Fugro	59'986	4802	2305	80	Migrata	5 - 29	No

Tabella 3.1: Valori relativi alle linee sismiche in formato SegY.

Di seguito sono riportati i nomi delle linee sismiche in cui si è individuata una non omogeneità tra lo spettro medio dell'intera sezione sismica e lo spettro di frequenza di ogni singola traccia e il settore in cui questo è stato riscontrato:

- 86CR94 – 10: nel settore NW della linea (inizio della sezione) prevalgono le alte frequenze;
- C – 537 W: a WNW (inizio della sezione) lo spettro delle singole tracce raggiunge più alti valori di frequenze (40 – 50 Hz);
- C – 541: all'inizio della sezione (verso NW) si registra un picco di frequenza tra 30 e 33 Hz;
- C – 572: a NE (fine della sezione) lo spettro è più spostato verso le basse frequenze (10 – 23 Hz);
- C – 582: verso SW (inizio della sezione) lo spettro è più largo (8 – 23 Hz);
- C – 588: alla fine della sezione (NE) lo spettro è spostato verso le alte frequenze (15 – 31 Hz);
- C – 596: alte frequenze (37 – 50 Hz) a fine sezione (NE);
- C87 – 251 – PX: a ESE (fine della sezione) lo spettro è più stretto (7 – 20 Hz);
- C87 – 252 – PXA: lo spettro è più largo a SSW (8 -34 Hz), a inizio sezione;
- C87 – 253 – PX: lo spettro raggiunge i 40 Hz nella parte orientale della linea sismica (fine della sezione);
- PGS – 105 -005: lo spettro è più stretto a inizio sezione (6 – 18 Hz);
- PGS – 202 – 002: lo spettro è più stretto nella parte centrale e in quella finale della sezione (5 -18 Hz). Inoltre, verso la fine della sezione, sono presenti componenti a più alta frequenza (35 – 60 Hz) forse legate a rumore.

Al fine di controllare se la disomogeneità riscontrata è diffusa nell'intero settore o solo a livello locale, non si sono analizzate solo due tracce ma cinque.

Nella Tabella 3.2 sono riportate le linee PGS-201-003 e PGS-301-006 le quali non possono essere esportate dal software Kingdom e visualizzate su Seisec come file in formato SegY. Di queste due linee sismiche commerciali, acquisite dalla compagnia Fugro, si conosce solo l'autore delle linee sismiche, la loro lunghezza misurata con il comando Ruler e il tipo di sezione (migrata/stack) come visibile in Tabella 3.2.

Nome linea	Autore	Lunghezza (m)	Migrata/Stack
PGS-201-003	Fugro	61'343	Migrata
PGS-301-006	Fugro	83'677	Migrata

Tabella 3.2: Valori relativi alle linee PGS-201-003 e PGS-301-006.

Lavorando sulle linee sismiche cartacee è possibile riconoscere una diversità tra le linee ministeriali e quelle commerciali riscontrabile negli spettri di frequenza medi appena riportati. Le prime, più vecchie, contengono un quantitativo di alte frequenze maggiore rispetto alle seconde, più recenti. Questo dettaglio è riscontrabile, anche se in maniera meno marcata, nei valori relativi agli spettri medi di ognuna delle linee sismiche (ottava colonna della Tabella 3.1). Questo maggior contenuto di frequenze nelle linee ministeriali rispetto a quelle commerciali consente una migliore caratterizzazione e quindi il riconoscimento delle facies ed una più facile distinzione dei riflettori ad alta frequenza da quelli a bassa frequenza. Queste informazioni sono mancanti nelle linee commerciali (sia cartacee sia digitali) dove ci sono spettri più stretti e selettivi.

Lo spettro medio in frequenza (Hz) visibile in ognuna delle sezioni sismiche dipende dai tipi di filtri utilizzati; questi ultimi servono per eliminare le componenti di rumore presenti sia a bassa sia ad alta frequenza e il loro errato utilizzo. La scelta non corretta dei valori dei filtri può provocare la perdita di informazioni.

Pozzi

I pozzi disponibili nell'area di studio sono 16; di questi, 5 sono solo in formato cartaceo mentre i restanti 11 sono sia in formato cartaceo sia in quello digitale e sono contenuti nel progetto CR 148 di Kingdom. Le informazioni stratigrafiche relative alle formazioni geologiche presenti nel sottosuolo dell'offshore ragusano derivano da decenni di esplorazioni del Canale di Sicilia ad opera di diverse compagnie petrolifere. Di seguito sono riportati, in ordine alfabetico i nomi del pozzo, i dati relativi alla compagnia petrolifera che ha effettuato la perforazione, all'anno o gli anni in cui essa è stata effettuata, alla distanza del pozzo dalla sezione sismica più vicina, alla profondità del fondo del mare, all'altezza della Tavola Rotary ed infine alla profondità totale di perforazione.

- Archimede 1 (1983 – 1984) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 0.518 km

Fondo Mare - 71.5 metri

Tavola Rotary (TR) 9.50 metri

Profondità totale del pozzo 5030 metri

- Aretusa 1 (1984 – 1985) → Compagnia: Lasmo

Distanza del pozzo dalla linea: 1.236 km

Fondo Mare - 83 metri

Tavola Rotary (TR) 13 metri

Profondità totale del pozzo 3741 metri

- Cernia mare 1 (1990) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 0.369 km

Fondo Mare - 96 metri

Tavola Rotary (TR) 26 metri

Profondità totale del pozzo 4357.7 metri

- Eva 1 (1984) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 0.076 km

Fondo Mare - 141.5 metri

Tavola Rotary (TR) 9.50 metri

Profondità totale del pozzo 3553 metri

- Gabbiano 1 (1988) → Compagnia: Conoco

Distanza del pozzo dalla linea: 0.517 km

Fondo Mare - 133.5 metri

Tavola Rotary (TR) 25 metri

Profondità totale del pozzo 3347 metri

- Lucata 001x (1973) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 2.231 km

Fondo Mare - 83.2 metri

Tavola Rotary (TR) 17.10 metri

Profondità totale del pozzo 4410 metri

- Merluzzo mare 1 (1982) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 0 km

Fondo Mare - 94 metri

Tavola Rotary (TR) 24 metri

Profondità totale del pozzo 2906.5 metri

- Mila 1 (1977 – 1978) → Compagnia: Montedison Milano

Distanza del pozzo dalla linea: 0.306 km

Fondo Mare - 54.5 metri

Tavola Rotary (TR) 9.50 metri

Profondità totale del pozzo 3640 metri

- Oreste 1 (1987) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 1.041 km

Fondo Mare - 156 metri

Tavola Rotary (TR) 33 metri

Profondità totale del pozzo 2744 metri

- Pilade Est 1 (1976) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 0.305 km

Fondo Mare - 98 metri

Tavola Rotary (TR) 33 metri

Profondità totale del pozzo 3400 metri

- Polpo 1 (1973) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 1.124 km

Fondo Mare - 54 metri

Tavola Rotary (TR) 33 metri

Profondità totale del pozzo 5074 metri

- Spada mare 1 (1982 – 1983) → Compagnia: Conoco

Distanza del pozzo dalla linea: 0 km

Fondo Mare - 83.82 metri

Tavola Rotary (TR) 22.25 metri

Profondità totale del pozzo 3654 metri

- Spigola Mare 1 (1984 – 1985) → Compagnia: Elf

Distanza del pozzo dalla linea: 1.678 km

Fondo Mare - 86 metri

Tavola Rotary (TR) 26 metri

Profondità totale del pozzo 3301 metri

- Ulisse 1 (1989) → Compagnia: Conoco

Distanza del pozzo dalla linea: 1.451 km

Fondo Mare - 133.5 metri

Tavola Rotary (TR) 25 metri

Profondità totale del pozzo 4681 metri

- Vega 1 (1980) → Compagnia: Montedison Milano

Distanza del pozzo dalla linea: 0.697 km

Fondo Mare - 129.5 metri

Tavola Rotary (TR) 10 metri

Profondità totale del pozzo 4287 metri

- Vera 1 (1985) → Compagnia: Agip

Distanza del pozzo dalla linea: 0.269 km

Fondo Mare - 53 metri

Tavola Rotary (TR) 33 metri

Profondità totale del pozzo 1911 metri

4. Interpretazione sismica

Questo capitolo è suddiviso in due parti: nella prima si illustra la metodologia con cui si è scelto di operare, mentre nella seconda si presentano i risultati ottenuti suddivisi in tre paragrafi distinti (A. Unità sismostratigrafiche, B. Corpi vulcanici, C. Evoluzione stratigrafica e strutturale dell'area).

Dopo aver distinto le facies sismiche su tutti i profili, per mezzo di *line drawing*, si è continuato con la taratura delle sezioni sismiche tramite l'utilizzo dei dati stratigrafici contenuti nei pozzi, localizzati in tutta l'area di studio. Il processo di taratura delle sezioni sismiche si è svolto in due momenti :

- Il primo è consistito nell'analisi dei pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1 tarati con il metodo del VSP. Tale tecnica consiste nel creare un sismogramma sintetico simile alla sezione sismica reale su cui cade il pozzo. Per generare questo modello è necessario disporre di una sezione sismica in corrispondenza della quale si trova un pozzo e delle curve di logs in esso registrate. Tramite la linea sismica è possibile attribuire un valore temporale ad ognuno dei riflettori mentre, tramite le curve di logs si possono leggere i valori di profondità in corrispondenza di ogni deflessione. Noti i valori temporali (degli orizzonti) e di profondità (delle deflessioni delle curve dei logs) è possibile suddividere sia i profili sismici che le curve di logs in tanti intervalli e per mezzo della formula:

$$v = s/t$$

calcolarne i valori di velocità (v). Le lettere s e t corrispondono, rispettivamente, alla differenza spaziale e temporale di ogni intervallo riconosciuto compreso tra il riflettore soprastante e quello sottostante. Calcolati i valori di velocità relativi ad ogni intervallo si procederà alla realizzazione del sismogramma il quale, se i dati raccolti sono corretti, coinciderà (o quasi) alla sezione sismica di partenza.

I valori di velocità e di tempo finali, ricavati da questi pozzi, sono stati calcolati direttamente dalle compagnie petrolifere, pertanto si considerano attendibili ed affidabili.

- Il secondo è consistito nella taratura delle linee sismiche per mezzo dei dati stratigrafici contenuti nei pozzi rimanenti (14). Di seguito è spiegata, brevemente, la metodologia utilizzata per svolgere questo lavoro e la sigla delle linee sismiche da cui si è scelto di partire.

Il lavoro è stato suddiviso in due parti:

- la prima è consistita nel riconoscimento e nella taratura di tre coppie di riflettori con alti valori di ampiezza, continui lateralmente, e facilmente individuabili per le forti deflessioni nelle curve dei logs. Grazie alle informazioni stratigrafiche contenute nei pozzi si è attribuito il primo orizzonte di ogni coppia alle Fm Gessoso Solfifera, Fm Hybla e Fm Streppenosa.
- la seconda è consistita nell'individuazione, con un'analisi di maggiore dettaglio delle curve dei logs, le formazioni geologiche di sottosuolo presenti tra le coppie di riflettori distinte durante la prima fase.

La prima fase della taratura consiste nella realizzazione di una tabella per il pozzo Aretusa 1 e una per il pozzo Gabbiano 1 tarati con il metodo del VSP. Le linee sismiche utilizzate dalle compagnie petrolifere per effettuare la taratura sono le seguenti: C – 586 e C – 531. Per mezzo di queste due tabelle si ha un'idea dei valori di velocità di ognuna delle formazioni geologiche presenti nell'area di indagine.

POZZO ARETUSA 001

Formazioni	Spessore (m)	TWT (s)	Velocità (km/s)
Quaternario - Pliocene	154	0.00	-
Fm Gessoso Solfifera	137	0.28	-
Fm Tellaro	269	0.32	2.152
Fm Ragusa	559	0.574	3.923
Fm Amerillo	713	0.859	4.028
Fm Hybla	477	1.213	3.419
Fm Chiaramonte	239	1.492	4.552
Fm Buccheri	523	1.597	4.023
Fm Modica	539	1.857	5.208
Fm Streppenosa	-	2.064	-

POZZO GABBIANO 001

Formazioni	Spessore (m)	TWT (s)	Velocità (km/s)
Quaternario - Pliocene	54	0.00	1.932
Fm Gessoso Solifera	206	0.41	--
Fm Tellaro	281	0.44	2.129
Fm Ragusa	410	0.71	3.694
Fm Amerillo	678	0.93	3.275
Fm Hybla	510	1.25	3.643
Fm Chiaramonte	174	1.54	4.461
Fm Buccheri	-	1.69	-
Fm Modica	-	2.00	-
Fm Streppenosa	-	2.40	-

Il pozzo Aretusa 1 raggiunge la profondità di 3'741 metri e attraversa tutte le formazioni geologiche dai depositi più recenti di età Pliocene-Quaternario fino al tetto della Fm Streppenosa di età Sinemuriano s. str. I dati stratigrafici contenuti nel pozzo Gabbiano 1, invece, mostrano che tale perforazione raggiunge solo la porzione superiore della Fm Chiaramonte per cui non si hanno né informazioni sugli spessori delle formazioni più profonde, né tanto meno sui valori di velocità relativi a queste formazioni. Per questo motivo nella seconda tabella non si conoscono i valori di spessore e velocità relativi alla Fm Buccheri, alla Fm Modica e alla Fm Streppenosa misurati sulla sezione sismica C – 531 in corrispondenza dello shot 1'391. Tali riflettori, riconosciuti durante la fase di taratura di altre linee sismiche, sono riportati tramite *loop* anche su questa sezione.

Dopo aver calcolato i valori di velocità (km/s) delle formazioni geologiche riconosciute nel pozzo Aretusa 1 e in Gabbiano 1, il lavoro è continuato con la taratura delle altre linee sismiche presenti nel resto dell'area per mezzo dei restanti pozzi. Prima di iniziare la fase di taratura è necessario identificare quale tra tutte le sezioni sismiche a disposizione, mostri la risoluzione migliore e si trovi in prossimità di almeno un pozzo.

In questo studio si è scelto di utilizzare il profilo C – 533 del progetto ministeriale sia per la buona risoluzione sismica sia per la sua vicinanza a tre pozzi:

- Eva 1 giace sul profilo C - 533;
- Ulisse 1 distante 1'448 km;
- Spigola Mare 1 distante 1'524 km.

Inoltre sulla linea sismica C – 533, come in altre sezioni sismiche, sono riconoscibili e tracciabili lateralmente tre doppiette di riflettori con alti valori di ampiezza e buona continuità laterale.

Il primo pozzo analizzato è il pozzo Eva 1 situato nella porzione nord-occidentale della linea sismica; esso cade sul profilo C – 533 e raggiunge la profondità di 3'553 metri. Questa perforazione attraversa tutta la successione bacinale arrivando fino alla porzione superiore della Fm Buccheri. Nonostante questo pozzo si trovi sulla sezione sismica C - 533, i dati stratigrafici in esso contenuti non permettono un'analisi di velocità completa dell'intera successione bacinale mesozoica.

Per conoscere i valori di velocità di tutte le formazioni geologiche presenti nel sottosuolo dell'offshore ragusano è necessario analizzare le informazioni contenute nel secondo pozzo (pozzo Ulisse 1) localizzato nella porzione centrale della linea sismica C – 533 e distante da essa 1'448 km; esso, profondo 4'681 metri, attraversa anche la porzione superiore della Fm Streppenosa. Utilizzando i dati stratigrafici contenuti in questo pozzo, e grazie alla buona risoluzione della linea sismica, è possibile effettuare la taratura dei riflettori (più visibili) sulla sezione sismica.

L'ultimo pozzo, localizzato nella porzione sud-occidentale della linea sismica, è Spigola Mare 1. Come per il pozzo Eva 1 questa perforazione raggiunge al massimo la porzione superiore della Fm Buccheri per cui non è possibile calcolare i valori di velocità delle formazioni più vecchie.

Utilizzando le informazioni stratigrafiche contenute in questi tre pozzi e quelle derivanti dall'analisi dei pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1 si è deciso di riconoscere prima le tre coppie di riflettori tramite le variazioni di tutte e tre le curve dei logs. Date le caratteristiche di ampiezza di queste coppie di riflettori ci si aspetta che le curve dei logs mostrino forti variazioni e siano quindi facilmente riconoscibili.

Tramite una serie di tentativi, utilizzando prima il pozzo Ulisse 1, è possibile assegnare un nome al primo orizzonte di cui è formata ognuna delle tre coppie di riflettori (dall'alto verso il basso):

1. Limite superiore della Fm Gessoso Solfifera;
2. Limite superiore della Fm Hybla;
3. Limite superiore della Fm Streppenosa.

La prima di queste tre coppie, posta a valori temporali compresi tra 0.124 e 1.216 secondi (TWT), corrisponde al limite superiore della Fm Gessoso Solfifera; essa separa una facies

riflettiva soprastante (depositi plio-pleistocenici) da un pacco trasparente sottostante (Fm Tellaro). La Fm Gessoso Solifera consiste in gessi e anidriti al cui interno si riconoscono, soprattutto nella porzione inferiore della sequenza, sottili intercalazioni di livelli marnosi. Questa doppietta di riflettori è riconoscibile dall'andamento di tutti i logs: la curva di *gamma ray*, in corrispondenza di questo intervallo, mostra una forte deflessione verso sinistra dovuta all'assenza (o quasi) di argille rispetto alle formazioni sopra e sottostanti; le curve di resistività e quella del sonico, invece, si comportano in modo opposto registrando una forte deflessione verso destra (aumento). Dato il ridotto spessore della successione della Fm Gessoso Solifera, è possibile affermare che il riflettore geometricamente più alto di questa doppietta corrisponda al tetto della sequenza, mentre quello più basso alla base. Osservando l'andamento di questa coppia di riflettori sui profili sismici (limite superiore ed inferiore della Fm Gessoso Solifera), si può notare che essa è presente in tutta l'area di studio ad eccezione dei settori orientali e nord-orientali.

La seconda coppia di riflettori, riconoscibile in tutto l'offshore di Ragusa, corrisponde al limite superiore della Fm Hybla che separa la soprastante formazione calcarea (Fm Amerillo) dalla sottostante Fm Hybla più marnosa. Tale superficie si trova ad una profondità, in tempi doppi, compresa tra un minimo di 0.674 secondi ed un massimo di 2.034 secondi. I dati stratigrafici contenuti in tutti i pozzi consentono di riconoscere un intervallo più marnoso nella porzione superiore della Fm Hybla potente tra 10 e 20 metri. Le curve di logs registrate in tutti i pozzi mostrano deflessioni verso destra per la curva di *gamma ray* (aumento del contenuto argilloso) e verso sinistra per quella di resistività e di sonico (diminuzione del valore di resistività e velocità); tutte queste variazioni sono valutate confrontando l'andamento delle curve dei logs sia nei depositi della Fm Hybla sia in quelli della Fm Amerillo. Per la facilità con cui è possibile riconoscere tale intervallo in tutti i pozzi, si è scelto di porre il tetto della Fm Hybla in corrispondenza dell'inizio di questo livello marnoso (considerato a partire dall'alto) diversamente da quanto riportato dai dati stratigrafici interpretati dai geologi di pozzo i quali pongono il limite Fm Amerillo – Fm Hybla a profondità leggermente minori.

L'orizzonte geometricamente più alto della doppietta posta a valori temporali più alti, corrisponde al limite superiore della Fm Streppenosa compreso tra 1.460 e 3.364 secondi. Di questa formazione si conosce il tetto, ma non la base in quanto nessuno dei 16 pozzi presenti nell'area di indagine l'ha perforata. Sulla base dei dati stratigrafici provenienti dai pozzi, si nota che al di sopra della Fm Streppenosa giacciono sia la Fm Modica sia la Fm Siracusa. Quest'ultima, localizzata nella sola porzione sud-occidentale dell'area di indagine, consiste in una sequenza di calcari di piattaforma deposta al di sopra di una formazione bacinale (Fm

Streppenosa), mentre la Fm Modica consiste in calcari selciferi grigio chiaro e calcari marnosi screziati alternati a marne e argille grigio verdastri. Dato che i depositi di entrambe le formazioni consistono in calcari, il passaggio alla sottostante Fm Streppenosa, costituita prevalentemente da argille, è riconoscibile da un forte aumento del valore di gamma ray (deflessione verso destra) e da una altrettanto forte riduzione del valore di resistività e velocità (deflessione verso sinistra); a conferma del passaggio da una formazione calcarea ad una argillosa, ci sono anche i cuttings.

Dopo aver riconosciuto le tre coppie di riflettori dai dati stratigrafici contenuti nei pozzi è possibile individuare tre intervalli e di ognuno calcolarne il valore di velocità. Procedendo dall'alto verso il basso troviamo:

- il primo è quello compreso tra il fondo del mare e il limite superiore della Fm Gessoso Solfifera;
- il secondo è compreso tra il limite superiore di quest'ultima formazione e il tetto della Fm Hybla;
- il terzo riguarda la successione sedimentaria posta tra il limite superiore della Fm Hybla e il tetto della Fm Streppenosa.

I valori di velocità relativi a questi tre intervalli sono simili a quelli trovati, con il metodo del VSP, dalle compagnie petrolifere Lasmo e Conoco per i pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1 rispettivamente. Per ottenere i valori di velocità (km/s) è necessario effettuare il rapporto tra lo spessore del singolo intervallo (s), espresso in metri, e la differenza temporale (t), in secondi, calcolati tra il tetto e la base dell'intervallo in questione con la seguente formula:

$$v = s/t$$

Per trovare i valori finali di velocità relativi ad ognuno degli intervalli è necessario effettuare un processo di *trial and error* modificando di volta in volta i valori temporali e/o quelli di profondità al fine di ottenere il risultato migliore.

Terminata la taratura della linea sismica con il pozzo Ulisse 1 si è scelto di utilizzare i dati provenienti dal pozzo Spigola Mare 1 e Eva 1, rispettivamente per la porzione sud-orientale e nord-occidentale della linea sismica.

Dopo aver correlato ognuna delle coppie di riflettori con le deflessioni principali riconosciute in tutte le curve di logs di tutti e tre i pozzi, ha inizio la fase di *looping* di questi orizzonti dalla linea sismica C – 533 su quelle perpendicolari che la intersecano. È preferibile prima eseguire il *loop* tra la sezione sismica C – 533 e la C – 586 in quanto quest'ultima è tarata per mezzo dei dati stratigrafici contenuti nel pozzo Aretusa 1. Se in corrispondenza dell'intersezione tra le due linee sismiche tutte e tre le coppie coincidono vuol dire che non sussistono problemi e si può procedere alla fase di *loop* dei medesimi riflettori su tutte le altre

sezioni sismiche, altrimenti è necessario andare a modificare i valori temporali e di velocità di ognuno degli orizzonti.

Di pari passo, durante la fase di *loop*, prosegue il processo di taratura delle altre linee sismiche per mezzo dei rimanenti pozzi (11), calcolando dove è possibile, un valore di velocità per ognuno dei tre intervalli e verificandone la congruità.

La seconda fase di taratura delle linee sismiche ha permesso di riconoscere unità sismiche più piccole all'interno di ognuno dei tre intervalli definiti in precedenza. Come visibile nelle due tabelle, relative ai pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1, si conoscono i valori di velocità intervallari di ognuna delle formazioni geologiche presenti nel sottosuolo. Questi valori sono calcolati con il rapporto spazio fratto tempo utilizzando i valori di spessore e di tempo relativi ai diversi intervalli individuati dalle compagnie petrolifere (rispettivamente Lasmo e Conoco).

Nel primo intervallo, quello tra il fondo del mare e il limite superiore della Fm Gessoso Solfifera, si trovano i depositi plio-pleistocenici dei quali spesso non si hanno informazioni stratigrafici dai cuttings (o poche) e geofisiche dalle curve dei logs.

Nel secondo intervallo, compreso tra il limite superiore della Fm Gessoso Solfifera e il tetto della Fm Hybla si distinguono tre unità sismiche:

1. La Fm Tellaro;
2. La Fm Ragusa;
3. La Fm Amerillo.

All'interno del terzo e ultimo intervallo, al di sotto del tetto della Fm Hybla, si riconoscono:

1. La Fm Hybla,
2. La Fm Chiaramonte;
3. La Fm Buccheri;
4. La Fm Modica.

La base di quest'ultimo intervallo corrisponde al limite superiore della Fm Streppenosa come visibile, grazie ai dati stratigrafici, nei pozzi Aretusa 1, Archimede 1, Lucata 001x, Mila 1, Spada Mare 1, Polpo 1, Ulisse 1 e Vega 1. Di tale sequenza è noto il tetto, ma non la sua base in quanto nessuno dei pozzi raggiunge una profondità tale da perforarla; per questo motivo non è possibile calcolare i valori di velocità della Fm Streppenosa e delle formazioni geologiche più vecchie.

Tramite l'utilizzo delle informazioni stratigrafiche contenute nei pozzi e sulla base dei dati ottenuti con il metodo VSP per i pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1 si è deciso di riconoscere il limite superiore di ognuna delle formazioni geologiche sopra elencate al fine di tracciarlo lateralmente (dove possibile) tramite un processo di *loop*. Tale scelta è dettata dalla possibilità

di trovare una correlazione tra i dati forniti dalle compagnie petrolifere per i pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1 e quelli provenienti dall'analisi delle curve di logs nei 14 pozzi rimanenti. L'unico limite riconosciuto durante la fase di taratura, ma che si è scelto di non tracciare sui profili sismici, è quello della Fm Tellaro che corrisponde al secondo orizzonte della doppietta di riflettori posta a valori temporali compresi tra 0.124 e 1.216 secondi (TWT). Si è scelto di non riportare il tetto della Fm Tellaro né sulle sezioni sismiche in formato cartaceo, né su quelle in formato digitale in quanto tale orizzonte sarebbe troppo vicino al riflettore definito come tetto della Fm Gessoso Solfifera (primo orizzonte della coppia di riflettori).

Per riconoscere i limiti superiori delle formazioni geologiche è necessario riprendere la linea sismica C – 533 ed effettuare una nuova fase di taratura all'interno di ognuno dei tre intervalli riconosciuti in precedenza. In questo step del lavoro si è deciso di partire dal pozzo Ulisse 1 il quale attraversa tutta la sequenza sedimentaria arrivando fino al limite superiore della Fm Streppenosa. Utilizzando i dati stratigrafici e geofisici contenuti in questo pozzo ha inizio la fase di riconoscimento, intervallo per intervallo, delle formazioni geologiche sopra elencate così come è avvenuto per i pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1. Per svolgere questa fase del lavoro si utilizzano sia le informazioni provenienti dalle curve dei logs (gamma ray, resistività e velocità) sia i dati litologici provenienti dai cutting logs.

In questa fase si è deciso di operare considerando un intervallo alla volta, partendo da quello geometricamente più profondo e procedendo verso quello più superficiale. Tarati i limiti superiori delle formazioni geologiche dell'intervallo più profondo (dall'alto verso il basso sono: tetto Fm Chiaramonte, tetto Fm Buccheri e tetto Fm Modica) si è agito, tramite *loop*, riportando questi orizzonti prima verso la porzione nord-occidentale e sud-orientale della linea sismica C – 533, dove ci sono i pozzi Eva 1 e Spigola Mare 1, e poi verso le altre sezioni sismiche presenti nell'area.

L'interpretazione delle facies sismiche ha permesso di riconoscere nell'intervallo più profondo, numerosi corpi vulcanici localizzati nella porzione settentrionale, orientale e sud-orientale dell'area di studio; nel settore sud-occidentale, invece, si trova la Fm Siracusa interpretata come un enorme corpo costituito da risedimenti la cui messa in posto è legata ad uno scivolamento. La presenza di quest'ultimo corpo e degli edifici vulcanici non consentono di tracciare lateralmente i limiti superiori delle tre formazioni (Fm Chiaramonte, Fm Buccheri e Fm Modica) appena riconosciute.

In modo analogo si procede per il secondo intervallo, quello intermedio, nel quale si riconoscono altre tre formazioni (dall'alto verso il basso): Fm Tellaro, Fm Ragusa e Fm Amerillo. I limiti superiori delle prime due formazioni possono esser seguiti arealmente, senza difficoltà, su tutte le sezioni sismiche dell'area di studio mentre quello della Fm

Amerillo non è sempre tracciabile verso Nord e verso Est per la presenza di edifici vulcanici anche di grosse dimensioni.

Terminata la fase di *loop* degli orizzonti contenuti nel secondo intervallo si è passati all'ultimo intervallo, quello più superficiale. Al suo interno, sulla base dei pochi dati stratigrafici disponibili dai pozzi, si può riconoscere solo la porzione inferiore dei depositi pliocenici-quadernari e non quella superiore, pertanto si è deciso di non tracciare nessun riflettore. Solo verso SW, dove il limite superiore della Fm Gessoso Solifera raggiunge profondità maggiori, sono riconoscibili le clinoformenti non visibili nel resto dell'area.

Di seguito saranno descritte tutte le facies sismiche riconosciute, da quella geometricamente più profonda a quella più superficiale utilizzando sia le informazioni ricavate dall'analisi dei logs sia quelle provenienti dall'interpretazione delle linee sismiche. Nelle descrizioni seguenti si fa riferimento ai grids creati con il software Kingdom 8.2 e agli elaborati realizzati manualmente.

A. Unità sismostratigrafiche

In questo paragrafo sono descritte le unità sismiche visibili, grazie alle linee sismiche sia in formato cartaceo sia in quello digitale, nel sottosuolo dell'offshore ragusano. Esse saranno descritte da quella geometricamente più profonda a quella più superficiale.

Formazione Streppenosa

La formazione geologica più vecchia attraversata nell'offshore ragusano consiste nella Fm Streppenosa il cui limite superiore è riportato su tutte le sezioni sismiche. Sulla base delle informazioni litologiche provenienti dall'analisi dei frammenti dei cuttings, i geologi di cantiere hanno attribuito queste litologie alla Fm Streppenosa. Mentre nell'onshore ragusano i pozzi attraversano sia il tetto sia la base di questa successione, nell'offshore di Ragusa la situazione è leggermente diversa in quanto solo 8 (Aretusa 1, Archimede 1, Lucata 001x, Mila 1, Spada Mare 1, Polpo 1, Ulisse 1 e Vega 1) dei 16 pozzi perforano solo il limite superiore della successione sedimentaria e mai quello inferiore. I rimanenti otto pozzi hanno una ridotta profondità di investigazione pertanto non raggiungono il limite tra la Fm Streppenosa e la Fm Modica. Per la mancanza di informazioni non è possibile definire lo spessore della Fm Streppenosa, ma solo lo spessore attraversato dagli otto pozzi, il quale varia da un minimo di 25 metri del pozzo Ulisse 1 fino ad un massimo di 3'043 metri del pozzo Polpo 1.

Sulle linee sismiche, il limite superiore di questa successione, consiste nel primo riflettore di cui è costituita la doppietta di riflettori il quale ha buona continuità laterale ed elevati valori di ampiezza. Una volta riportata questa coppia su tutte le linee sismiche si può rappresentare l'andamento in pianta del tetto della Fm Streppenosa per mezzo del comando di gridding. Il risultato finale ottenuto con il software Kingdom 8.2 è quello visibile in Figura 4.1.

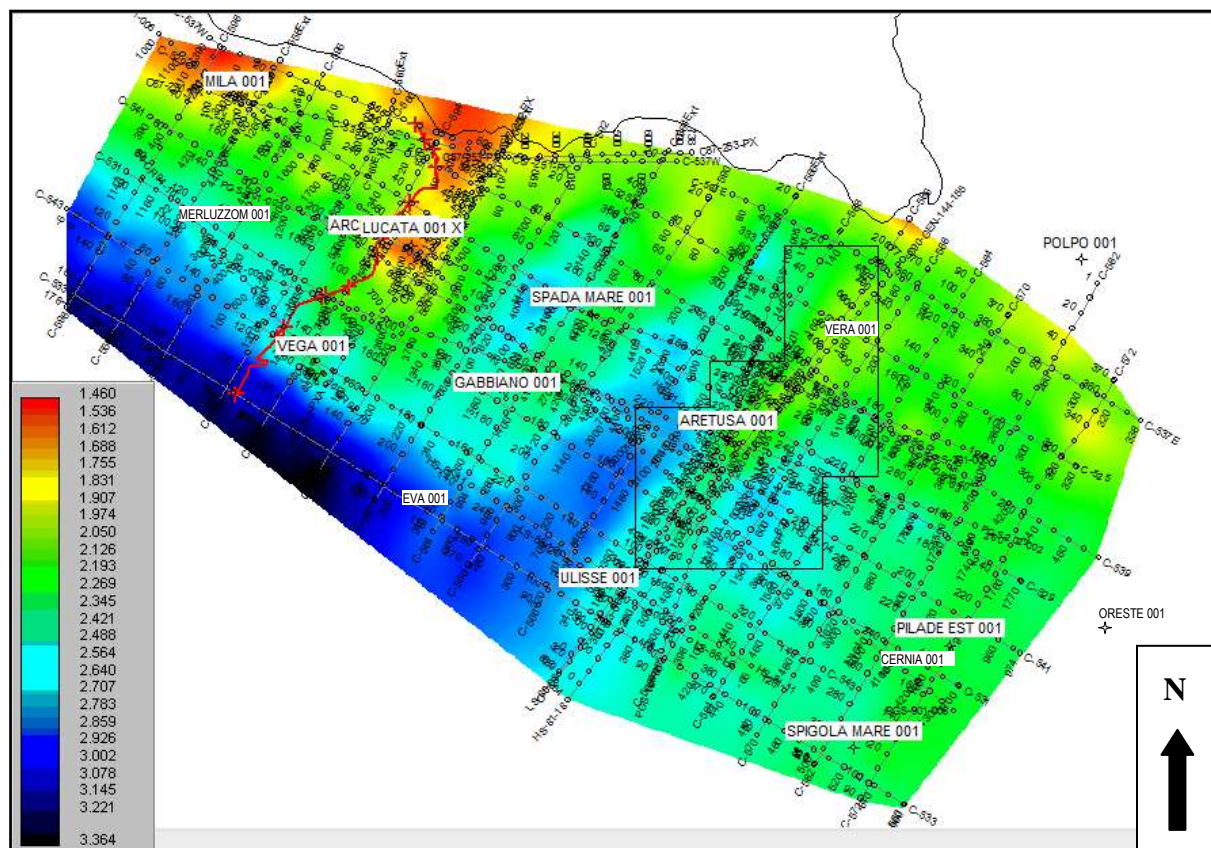


Figura 4.1: Grid relativo al limite superiore della Fm. Streppenosa (Sinemuriano). La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

Sulle linee sismiche questo riflettore si trova compreso tra un valore temporale di 1.460 secondi (colorazione rosso-arancione) e di 3.364 secondi (colorazione blu-scuro). Sulla base dei colori visibili nel grid di Figura 4.1 si osserva che esistono dei settori di alto morfologico (anticlinali) e altri di basso (sinclinali). I primi sono riconoscibili sia nelle porzioni orientale e nord-orientale sia in quella centrale dell'area di studio, mentre i secondi corrispondono a delle zone depresse, orientate NNE–SSW, ed allungate parallelamente ai primi. Dall'interpretazione delle linee sismiche è possibile affermare che i settori rilevati consistono in tre pieghe anticlinali, allungate in direzione NNE – SSW, e in corpi vulcanici mentre quelli depressi sono le sinclinali.

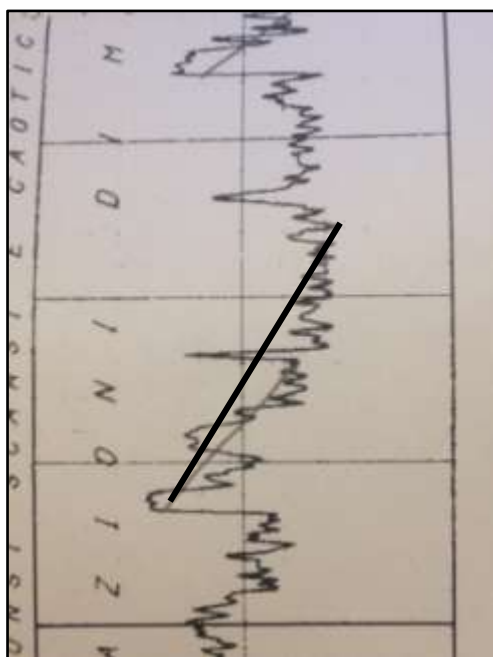
Sui profili sismici, al di sotto del riflettore segnato in colore viola scuro, si riconosce una sismofacies riflettiva caratterizzata da riflettori piano paralleli con scarsa continuità laterale ed elevati valori di ampiezza. Tanto più il tetto della Fm Streppenosa è posto in profondità

(tempi e metri) e tanto peggiore sarà la risoluzione sismica della sezione; per questo motivo solo su alcune sezioni sismiche si può riconoscere la facies sismica al di sotto del limite superiore della Fm Streppenosa.

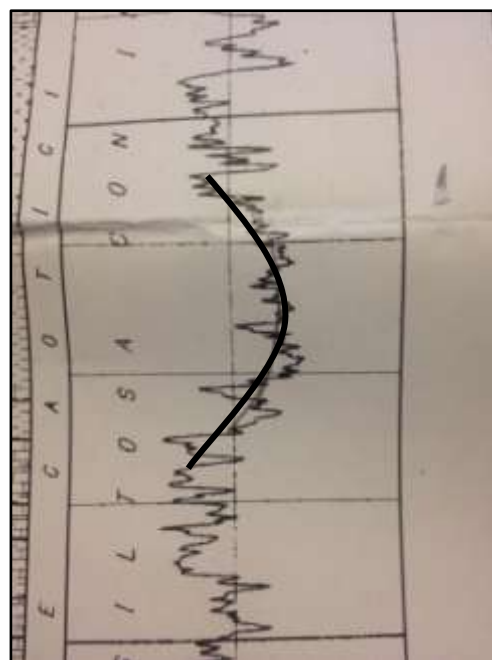
I pozzi che attraversano il limite superiore della Fm Streppenosa sono otto: Archimede 1, Aretusa 1, Lucata 001x, Mila 1, Polpo 1, Spada Mare 1, Ulisse 1 e Vega 1. In essi, tramite l'analisi delle curve dei logs (gamma ray, resistività e sonico), si nota la deflessione verso destra della curva di gamma ray (aumento nel contenuto argilloso) e verso sinistra nelle curve di resistività e del sonico (diminuzione del valore di resistività e di velocità). Queste deflessioni sono valutate confrontando l'andamento delle medesime curve di logs nei soprastanti depositi (Fm Modica). Le litologie riconosciute dall'analisi dei frammenti dei cuttings consistono in marne (in prevalenza) e argille a conferma dell'andamento osservato nelle curve dei logs.

Un'analisi di dettaglio delle curve dei logs nei pozzi Archimede 1, Lucata 001x e Polpo1 permette di affermare che all'aumentare della profondità le curve logs mostrano un andamento seghettato (aumento del numero di deflessioni verso sinistra per la curva del gamma ray e verso destra per quelle di resistività e sonico) rispetto all'andamento rettilineo riconosciuto nei depositi soprastanti. Tale andamento è interpretabile come dovuto ad un elevato quantitativo di depositi stratificati presenti nella sola porzione inferiore dei pozzi Archimede 1, Lucata 001x e Polpo1. Sulla base delle informazioni provenienti dai cuttings, si possono attribuire le deflessioni verso destra nella curva di gamma ray e verso sinistra nelle curve di resistività e del sonico a rocce calcaree.

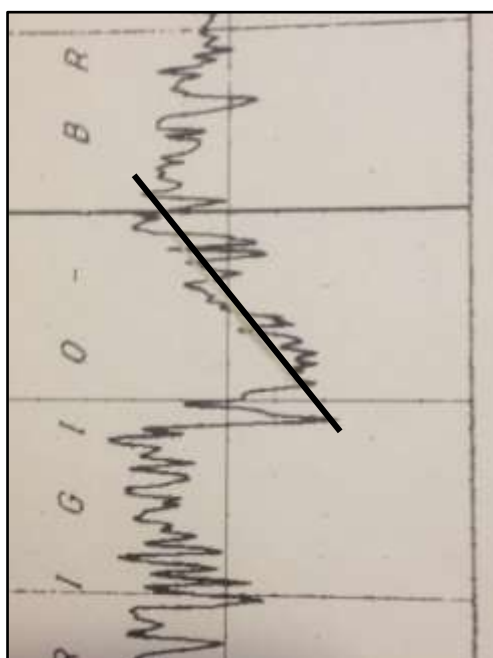
Nel pozzo Archimede 1 come nel pozzo Polpo 1, si nota che nella curva di gamma ray sono riconoscibili tre andamenti: a campana (Figura 4.2 a), simmetrico (Figura 4.2 b) e ad imbuto (Figura 4.2 c). Nel primo caso si ha la diminuzione dell'argillosità all'aumentare della profondità, nel secondo si verifica un aumento dell'argillosità nella porzione centrale dell'intervallo ed infine, nel terzo ed ultimo caso, si ha l'aumento del valore di gamma ray all'aumentare della profondità. Tali andamenti permettono di affermare che, alle diverse profondità, il contenuto argilloso, e di conseguenza il valore di resistività e di velocità, cambiano.



4.2 a



4.2 b



4.2 c

Figura 4.2. Andamento delle curve di logs: a campana (4.2 a), simmetrico (4.2 b) e a imbuto (4.2 c). (Pozzo Archimede 1)

Formazione Siracusa

Al di sopra del limite superiore della Fm Streppenosa, nella porzione sud-occidentale dell'area di indagine, si riconoscono dei depositi calcarei attribuiti da geologi di cantiere alla Fm Siracusa. Essa, visibile sia sulle sezioni sismiche perpendicolari alla linea di costa sia su quelle parallele è interpretata come un corpo di risedimenti la cui messa in posto è avvenuta per mezzo di un grande fenomeno di scivolamento sottomarino proveniente da SW. Questo corpo è perforato da due dei 16 pozzi presenti nell'area: Merluzzo Mare 1 e Vega 1. Il primo attraversa i calcari della Fm Siracusa dalla profondità di 2'446 metri fino a fine pozzo per un

totale di 454 metri mentre il secondo perfora sia il tetto sia la base di questa successione per un totale di 1'618 metri. Le facies sismiche visibili sulla linea sismica C – 594, posta in prossimità del pozzo Vega 1, consentono di riconoscere questo corpo e di distinguerne sia il limite superiore sia quello inferiore; su questa sezione sismica, grazie ai dati stratigrafici contenuti nel pozzo Vega 1, è possibile calcolare un valore di velocità per la successione pari a 5.393 km/s.

Nella porzione sud-occidentale dell'area si trova anche un terzo pozzo (Eva 1) il quale perfora la successione sedimentaria, raggiungendo la porzione superiore della Fm Buccheri. La profondità di investigazione di tale perforazione è di 3'553 metri, non sufficiente per attraversare la base della Fm Buccheri e raggiungere i sottostanti risedimenti calcarei. Nonostante questo pozzo non attraversi la Fm Siracusa, le sismofacies visibili sulla linea sismica C – 533 allo shot 233, in corrispondenza del pozzo Eva 1, consentono di riconoscere risedimenti poco al di sotto di una sismofacies più riflettiva.

Nel pozzo Merluzzo Mare 1 sono presenti tre curve dei logs: la prima, quella relativa all'andamento del gamma ray, mostra una deflessione verso sinistra mentre la seconda e la terza, resistività e sonico, sono deflesse verso destra. La prima e la terza curva hanno un andamento rettilineo lungo tutta la sequenza mentre nella seconda si vedono continue deflessioni sia verso destra sia verso sinistra. Anche nel pozzo Vega 1 le curve di gamma ray e di resistività mostrano lo stesso andamento appena descritto per il pozzo Merluzzo Mare 1. Sempre nel pozzo Vega 1 la curva del gamma ray, verso la base della sequenza della Fm Siracusa, presenta numerose deflessioni verso destra indicanti un improvviso aumento dell'argillosità. Nella curva di resistività, in corrispondenza dei picchi di gamma ray, non si nota alcuna deflessione.

Durante la fase interpretativa si è scelto di rappresentare, su una carta di base, la distribuzione areale della Fm Siracusa, interpretata come un corpo costituito da risedimenti e circoscritto alla porzione sud-occidentale dell'area di studio (Figura 4.3).



Figura 4.3: Distribuzione areale della Fm Siracusa. Il limite occidentale e sud-occidentale, con andamento rettilineo, segnano il limite dell'area di studio e non il reale andamento spaziale di questo corpo.

Questa sequenza è limitata alle sezioni sismiche comprese tra la C – 556 (inclusa) e la C – 566 (esclusa) per le linee perpendicolari alla linea di costa e dalla linea C – 529 (esclusa) alla C – 535 (inclusa) per quelle parallele. Sulle linee sismiche, in corrispondenza di questo corpo, si distinguono due sismofacies: una caotica in cui ci sono pochi riflettori privi di continuità laterale e disposti in modo casuale ed una in cui si distinguono riflettori piano paralleli con elevati valori di ampiezza e moderata continuità laterale.

Dall'interpretazione delle linee sismiche si può affermare che lo spessore della Fm Siracusa è massimo verso SW, all'inizio delle sezioni sismiche, e diminuisce procedendo verso NE. Sul fianco nord-orientale di questo corpo i riflettori soprastanti terminano in onlap.

All'interno della Fm Siracusa, le sismofacies non permettono di distinguere nessun corpo vulcanico.

Formazione Modica

Dove è assente la Fm Siracusa, al di sopra della Fm Streppenosa si trova la Fm Modica la quale è attraversata da otto pozzi: Archimede 1, Aretusa 1, Lucata 001x, Mila 1, Spada Mare 1, Polpo 1 e Ulisse 1. La sequenza attraversata, come mostrano i cuttings, consiste in calcari fossiliferi con liste di selce e intercalazioni basaltiche (pozzo Lucata 001x); nel pozzo Ulisse 1 associati ai calcari si trovano anche numerosi livelli argillosi. Lo spessore della Fm Modica passa da un minimo di 230 metri nel pozzo Mila 1 fino ad un massimo di 564 metri nel pozzo Ulisse 1.

Le curve dei logs analizzate negli otto pozzi presentano i seguenti andamenti:

- la curva relativa al gamma ray presenta una deflessione verso sinistra (e quindi un contenuto in argilla minore) sia rispetto ai depositi sottostanti (Fm Streppenosa) sia rispetto ai soprastanti sedimenti appartenenti (Fm Buccheri). In tutti i pozzi, ad eccezione del pozzo Ulisse 1, si nota che la curva del gamma ray ha un andamento rettilineo; solo nel pozzo Ulisse 1 dato l'elevato contenuto di livelli argillosi si riconoscono numerose deflessioni verso destra (andamento seghettato).
- la curva relativa alla resistività mostra alti valori spesso fuori scala.
- nella terza curva del log, quella relativa ai valori di velocità, si nota un andamento rettilineo. Tali valori sono maggiori sia rispetto ai depositi soprastanti sia rispetto a quelli sottostanti.

Dopo aver tracciato il limite superiore di questa formazione prima sulle linee sismiche in formato cartaceo e poi su quelle in formato digitale si è scelto di realizzare un grid con il software Kingdom 8.2 per mezzo del quale si può osservare l'andamento in pianta di tale superficie. Analizzando la l'andamento areale di questa superficie si possono riconoscere tre strutture tra loro parallele orientate in direzione NNE – SSW. Tra queste tre zone più rilevate, i cui valori temporali si aggirano attorno a 1.558 secondi (colore giallo), si riconoscono settori di basso morfologico di colore blu scuro (2.582 secondi) come mostrato dal grid di Figura 4.4.

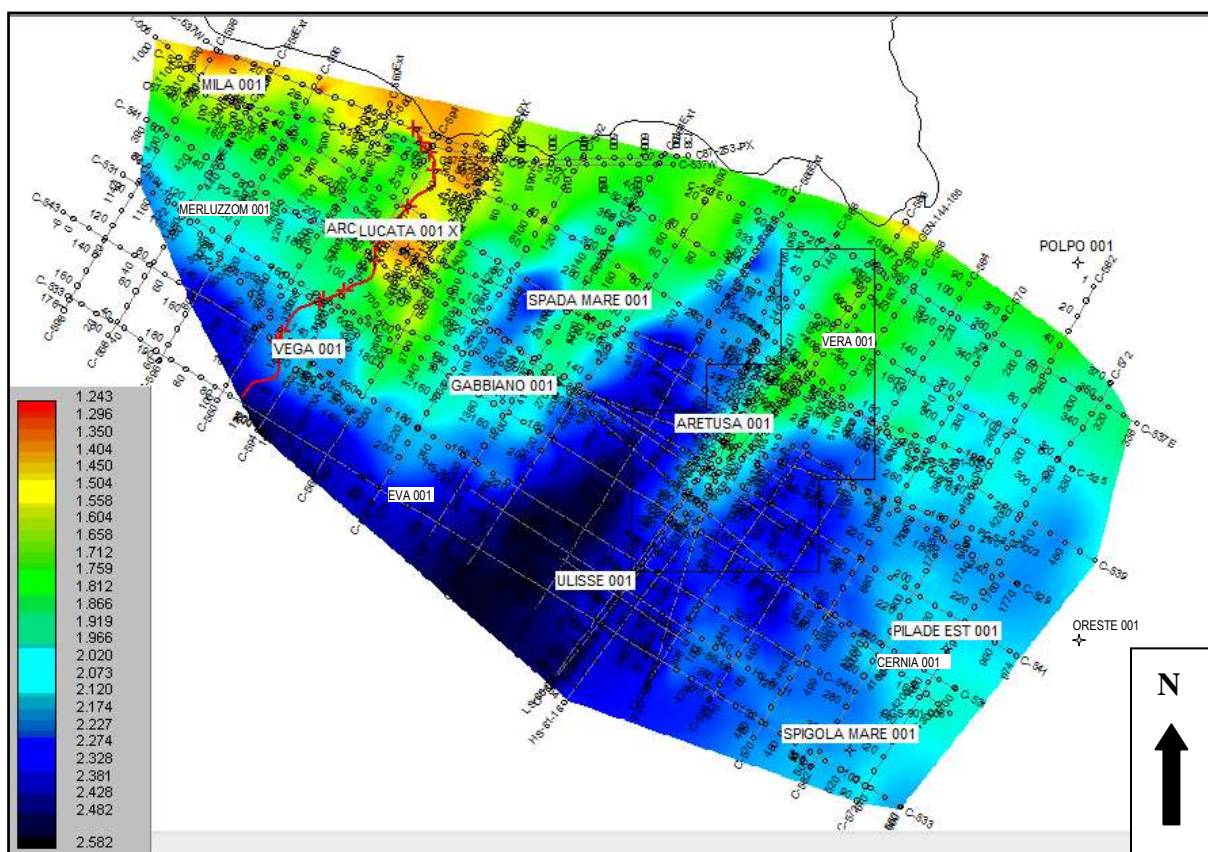


Figura 4.4: Grid relativo al limite superiore della Fm. Modica (Domeriano). La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

Nei settori orientali si nota inoltre che la superficie relativa al tetto della Fm Modica si trova a profondità minori rispetto alle zone meridionali indicate in colore blu scuro.

Confrontando la Figura 4.4 con la Figura 4.1 si riconoscono tre strutture più rilevate, allungate in direzione NNE-SSW, separate da tre zone di basso morfologico.

L'analisi delle linee sismiche ha portato al riconoscimento di una sismofacies compresa tra il limite superiore della Fm Modica e quello della Fm Streppenosa il cui spessore (in termini temporali) è variabile. All'interno di questa facies sismica si distinguono porzioni più riflettive con orizzonti moderatamente continui lateralmente e porzioni sorde. Sulla base di queste ultime, e data la geometria riconoscibile sui profili sismici, si desume siano corpi vulcanici. Contro questi corpi interpretati come edifici vulcanici i riflettori, di questa sismofacies, terminano in onlap indicando una fase sedimentaria successiva l'attività vulcanica. In questa porzione dell'area di studio, come visibile dalla distribuzione areale dei corpi vulcanici (Figura 4.20), si trovano numerosi edifici vulcanici di grosse dimensioni costituiti da vulcaniti e dalle relative vulcanoclastiti di piccole e di grosse dimensioni. Nella porzione sud-occidentale dell'area di studio i riflettori compresi tra il limite superiore della Fm Modica e quello della sottostante Fm Streppenosa sono in onlap sul fianco nord-orientale della Fm Siracusa. La terminazione di questi riflettori indica che la messa in posto dei

risedimenti, attribuiti alla Fm Siracusa (provenienti da SW), è precedente la deposizione della Fm Modica.

Formazione Buccheri

In tutta l'area di indagine, si trova la Fm Buccheri la quale giace tra i sottostanti depositi della Fm Modica e i soprastanti della Fm Chiaramonte. Il tetto di questa sequenza sedimentaria è perforato da tutti i pozzi ad eccezione dei pozzi Merluzzo mare 1 e Vera 1. Il primo, al di sotto dei depositi della Fm Chiaramonte, incontra i sedimenti della Fm Siracusa i quali proseguono fino alla fine del pozzo mentre nel secondo, data la scarsa profondità di investigazione (1'911 metri) si raggiungono solo i depositi vulcanici della Fm Amerillo.

I restanti pozzi (Archimede 1, Aretusa 1, Lucata 001x, Mila 1, Polpo 1, Spada Mare 1, Ulisse 1 e Vega 1) attraversano sia il tetto sia la base della Fm Buccheri per uno spessore variabile tra 223 metri (pozzo Vega 1) e 760 metri (pozzo Spada Mare 1) mentre i restanti sei perforano solo la porzione superiore della Fm Buccheri. Grazie alle informazioni stratigrafiche contenute nei pozzi che attraversano sia il tetto sia la base di questa successione sedimentaria è possibile distinguere due porzioni dall'andamento delle curve dei logs (Figura 4.5):

- la prima, geometricamente più alta, è caratterizzata da un aumento dei valori di gamma ray (deflessione verso destra) e dalla diminuzione di quelli di resistività e sonico (deflessione verso sinistra). Le deflessioni appena descritte sono espresse considerando l'andamento delle medesime curve di logs nei soprastanti depositi (Fm Chiaramonte). All'interno di questo primo intervallo, potente all'incirca 150 – 160 metri, si distingue un andamento a imbuto nella curva di gamma ray indicante un aumento di argillosità procedendo dall'alto verso il basso della sequenza. In corrispondenza del medesimo intervallo, nelle curve di resistività e del sonico, si registra la diminuzione della resistività e della velocità all'aumentare della profondità.
- la seconda porzione si distingue dalla prima per un andamento più rettilineo di tutte le curve dei logs (gamma ray, resistività e sonico) e per la presenza di più bassi valori di argillosità e più alti valori di resistività e sonico. Queste deflessioni sono considerate rispetto all'andamento delle medesime curve nella soprastante porzione della Fm Buccheri.

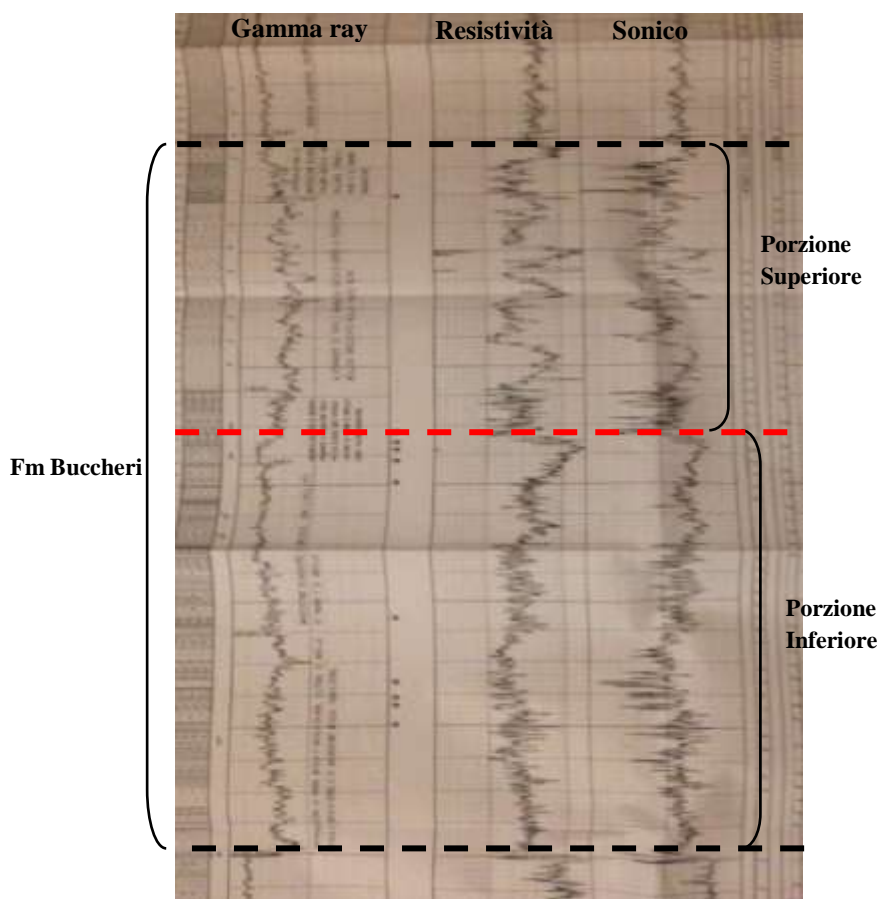


Figura 4.5: Andamento delle curve di logs (gamma ray, resistività e sonico) all'interno della Fm Bucchieri (Pozzo Lucata 001x).

Dopo aver individuato su tutte le linee sismiche il limite superiore di questa successione sedimentaria è possibile realizzare, con il programma Kingdom 8.2, il grid relativo all'andamento in pianta di questa superficie. In Figura 4.6 si osserva che tale superficie, presente in tutto l'offshore di Ragusa, mostra zone più rilevate (colori verde – giallo – rosso a 1.064 secondi di profondità) e altre più depresse (colore azzurro – blu a 2.641 secondi). Osservando l'andamento in pianta del limite superiore della Fm Bucchieri si può notare che esistono tre strutture più rilevate orientate in direzione NNE – SSW separate da altrettante zone di basse morfologico. Nel settore nord-orientale, la colorazione verde chiaro, indica la presenza di una zona più rilevata; essa, come mostrano le linee sismiche sia perpendicolari sia parallele alla linea di costa, consiste in un settore rilevato in cui si trovano numerosi corpi vulcanici.

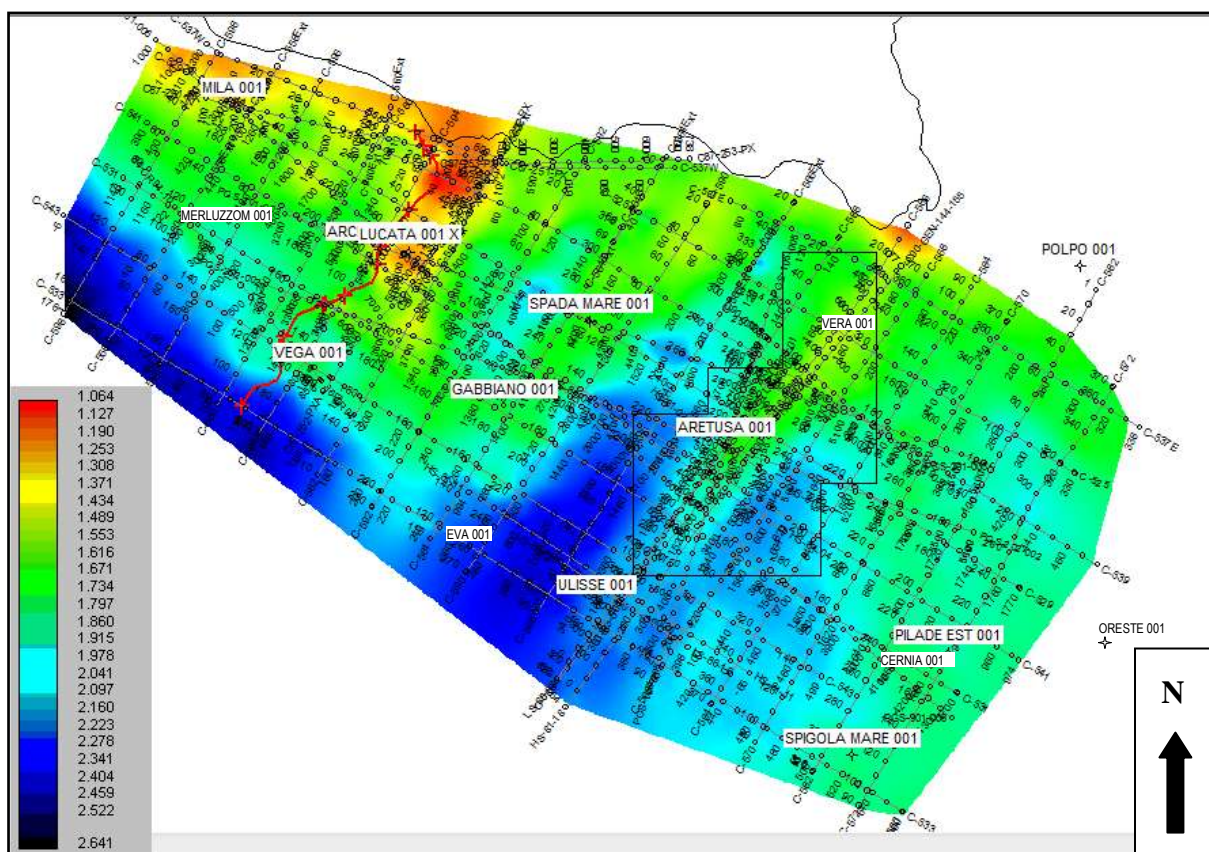


Figura 4.6: Grid relativo al limite superiore della Fm. Buccheri (Titoniano). La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

L'analisi delle linee sismiche ha permesso di riconoscere una facies sismica costituita da riflettori piano paralleli con buona continuità laterale ed elevata ampiezza. Questi orizzonti, paralleli al riflettore costituente il tetto della formazione, sono coinvolti in una deformazione di tipo compressivo, responsabile della formazione di anticlinali e sinclinali. Nella sismofacies distinta tra il riflettore corrispondente al tetto della Fm Buccheri e quello della Fm Modica si riconoscono riflettori caotici attribuiti, anche grazie alle geometrie visibili sulle sezioni sismiche, a corpi vulcanici. In prossimità di questi ultimi si notano due situazioni diverse: in alcuni casi si riconosce la condensazione della successione sedimentaria verso il top degli edifici vulcanici mentre in altri i riflettori terminano in onlap su entrambi i fianchi del corpo vulcanico. Tra il limite superiore della Fm Buccheri e quello della sottostante Fm Modica, grazie all'analisi delle sismofacies, sono riconoscibili sia le vulcaniti, con facies sorda, sia le vulcanoclastiti, la cui facies si presenta caotica; quest'ultima è riconoscibile nella sola porzione settentrionale dell'area come mostra l'elaborato relativo ai corpi vulcanici compresi tra il limite superiore della Fm Streppenosa e quello della Fm Hybla (Figura 4.20).

Formazione Chiaramonte

Tra i depositi della Fm Buccheri e quelli della Fm Hybla si trova la Fm Chiaramonte la quale consiste in calcari e calcari argillosi alternati a locali intervalli marnosi. Queste informazioni provengono dall'analisi di frammenti di cuttings effettuata da stratigrafi in laboratorio.

Dei 16 pozzi presenti nell'area solo 14 attraversano sia il tetto sia la base della successione sedimentaria e sono i seguenti: Archimede 1, Aretusa 1, Cernia 1, Eva 1, Gabbiano 1, Lucata 001x, Merluzzo Mare 1, Mila 1, Pilade Est 1, Polpo 1, Spada Mare 1, Spigola Mare 1, Ulisse 1 e Vega 1. Lo spessore attraversato varia da un minimo di 14 metri (pozzo Eva 1) ed un massimo di 436 metri (pozzo Archimede 1).

Nei pozzi Oreste 1 e Vera 1, la ridotta profondità di perforazione, non permette di raggiungere i depositi di età Toarciano della Fm Buccheri.

Nei pozzi che attraversano la Fm Chiaramonte si distinguono, sulla base delle curve dei logs, due porzioni in cui può essere divisa la successione sedimentaria:

- nella curva di gamma ray si distingue una porzione superiore in cui si verifica una deflessione verso sinistra (diminuzione nel contenuto di argillosità) ed una inferiore in cui si ha una debole deflessione verso destra (aumento del contenuto argilloso). La curva di gamma ray ha un andamento rettilineo lungo tutta la successione e non mostra alcun picco isolato.
- nella curva di resistività e in quella del sonico si distingue un aumento di questi valori nella porzione superiore della Fm Chiaramonte; in corrispondenza dell'aumento di argillosità, nella porzione inferiore della sequenza, si registra una diminuzione del valore di resistività e della velocità. Entrambe le curve, in entrambe le porzioni della sequenza sedimentaria, hanno un andamento rettilineo.

Le informazioni appena riportate e relative all'andamento di tutte e tre le curve dei logs indicano che nella porzione inferiore della Fm Chiaramonte si ha l'aumento del contenuto argilloso. Le deflessioni descritte per la porzione superiore della sequenza sono confrontate con l'andamento delle medesime curve nei soprastanti depositi della Fm Hybla; quelle visibili nella porzione inferiore sono comparate all'andamento delle medesime curve nei depositi più recenti della Fm Chiaramonte (porzione superiore).

Dopo aver riportato il limite superiore di questa formazione su tutte le sezioni sismiche, dove possibile, si è deciso di realizzare il grid relativo all'andamento in pianta di questa superficie. Il risultato ottenuto è quello mostrato in Figura 4.7 in cui, come nelle figure relative ai limiti superiori delle formazioni geologiche più vecchie e in alcune di quelle più giovani, si riconoscono tre strutture allungate in direzione NNE – SSW. Come già definito in precedenza si tratta di tre strutture rilevate rappresentate con il colore verde chiaro e giallo separate da tre

strutture depresse indicate con il colore azzurro e blu scuro. Dall'interpretazione delle linee sismiche è noto che l'insieme di questo sistema di alti e bassi e morfologici consiste in un sistema di pieghe anticlinali e sinclinali riconoscibili sui soli profili sismici disposti paralleli alla linea di costa. Nel grid di Figura 4.7, grazie alle diverse tonalità di colore, si distinguono due settori depressi in cui il tetto della Fm Chiaramonte raggiunge le profondità massime; questi ultimi, di colore blu scuro (profondità in tempi doppi pari a 2.464 secondi), sono localizzati uno nella porzione sud-occidentale dell'area di indagine (a SW del pozzo Vega 1) e uno tra la struttura rilevata posta al centro dell'area e quella più orientale (ad W del pozzo Ulisse 1). L'area più rilevata, di colore rosso - arancione (profondità di 0.861 secondi espressa in tempi doppi), si trova sull'anticlinale posta nel settore centro – occidentale dell'area di tesi in prossimità delle linee sismiche C – 539 e tra la C – 594 e la C – 562, a Nord dei pozzi Archimede 1 e Lucata 001x.

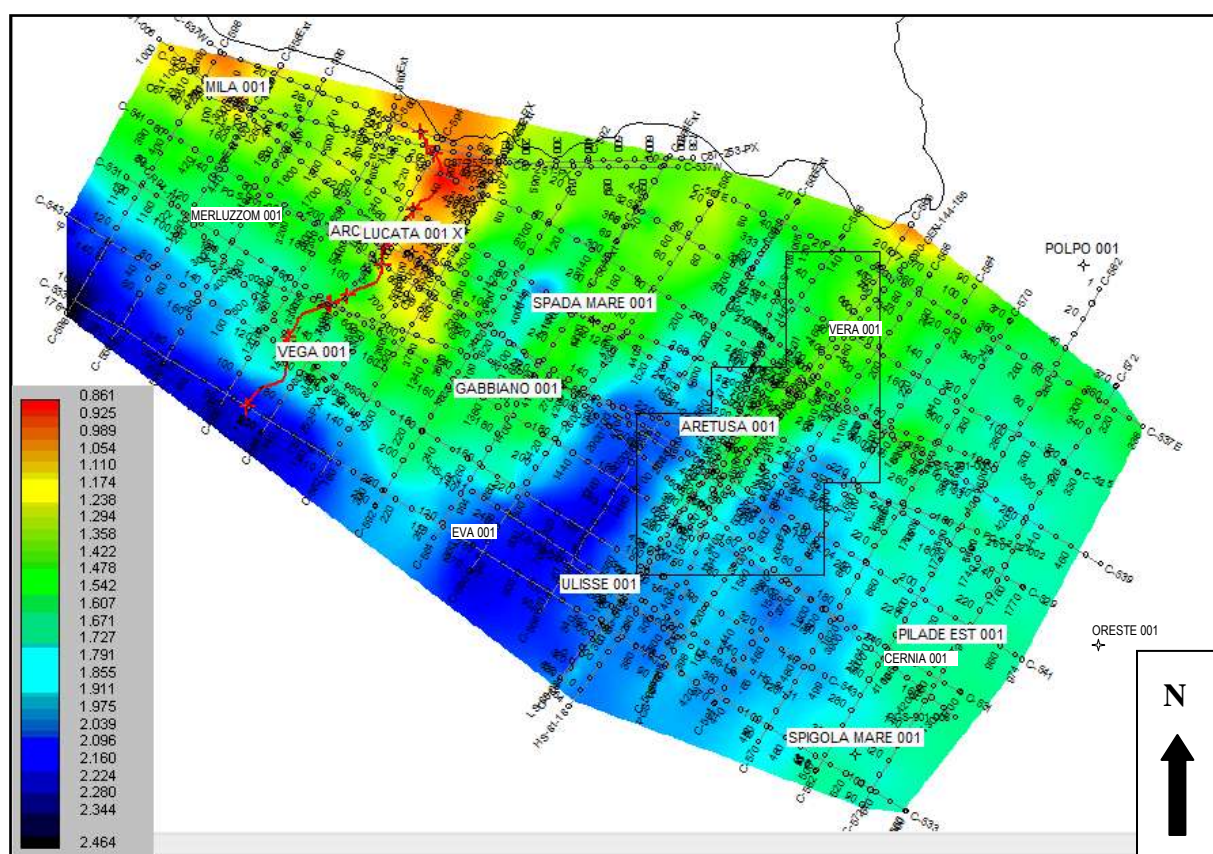


Figura 4.7: Grid relativo al limite superiore della Fm. Chiaramonte (Hauteriviano inferiore). La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

Formazione Hybla

Tra i depositi della soprastante Fm Amerillo e quelli della sottostante Fm Chiaramonte si trova la successione della Fm Hybla che è attraversata da tutti i 16 pozzi presenti nell'area ad eccezione del pozzo Vera il quale, per la sua ridotta profondità di perforazione (1911 metri)

raggiunge solo i depositi della soprastante Fm Amerillo; lo spessore di questa successione varia tra un minimo di 143 metri (pozzo Pilade Est 1) fino ad un massimo di 765 metri (pozzo Ulisse 1). Il tetto di questa successione, diversamente da quanto interpretato dagli stratigrafi che hanno analizzato i cuttings in laboratorio, è posto più in profondità in corrispondenza ad una importante deflessione di tutte e tre le curve dei logs. Queste ultime, al di sotto di quello che è definito dagli stratigrafi il tetto della successione della Fm Hybla, mostrano una forte deflessione verso destra della curva di gamma ray indicante un aumento dell'argillosità e una altrettanto forte deflessione in direzione opposta per la curva di resistività e per il sonico. Queste variazioni di notevole importanza sono valutate rispetto ai soprastanti depositi della Fm Amerillo. Su tutte le linee sismiche, ad una profondità in tempi doppi compresa tra 2.034 secondi (colore blu scuro) e 0.674 secondi (colore arancione – rosso), si può riconoscere una doppietta di riflettori come mostra la scala di colori posta in basso a sinistra nella Figura 4.8. Quest'ultima, con elevati valori di ampiezza e con buona continuità laterale, è facilmente tracciabile in tutta l'area. Il riflettore geometricamente più alto di cui è costituita questa coppia rappresenta il limite superiore della Fm Hybla e coincide con l'inizio di un intervallo più argilloso mentre il secondo coincide con il punto in cui le curve dei logs riprendono il loro andamento rettilineo a valori più bassi. Lo spessore di questo intervallo, con un più alto contenuto argilloso, varia da un minimo di 24 metri (pozzo Cernia 1) e un massimo di 198 (pozzo Eva 1).

Dopo aver tracciato il tetto della Fm Hybla, sia sulle linee sismiche in formato cartaceo sia su quelle in formato digitale, si è proceduto alla realizzazione del grid di questa superficie tramite l'ausilio del software Kingdom 8.2. Il risultato ottenuto, visibile in Figura 4.8, mostra, come per i limiti superiori delle sottostanti formazioni geologiche, tre strutture più rilevate orientate in direzione NNE – SSW separate da altrettanti settori depressi con medesimo orientamento. Queste tre strutture (tre anticlinali e tre sinclinali) sono tagliate perpendicolarmente, o quasi, dalle sezioni sismiche parallele alla linea di costa.

L'analisi delle linee sismiche ha permesso di individuare, grazie alla sismofacies e alla geometria, sia piccoli corpi vulcanici isolati e localizzati nei settori centrali dell'area di indagine che edifici di più grosse dimensioni; questi ultimi sono posti all'interno della Fm Hybla e anche nella sottostante Fm Chiaramonte. In tutte le sezioni sismiche, al di sotto del limite superiore della Fm Hybla, non è possibile distinguere la facies sismiche attribuita alle vulcaniti (facies sorda) da quella ascrivibile alle vulcanoclastiti (facies caotica).

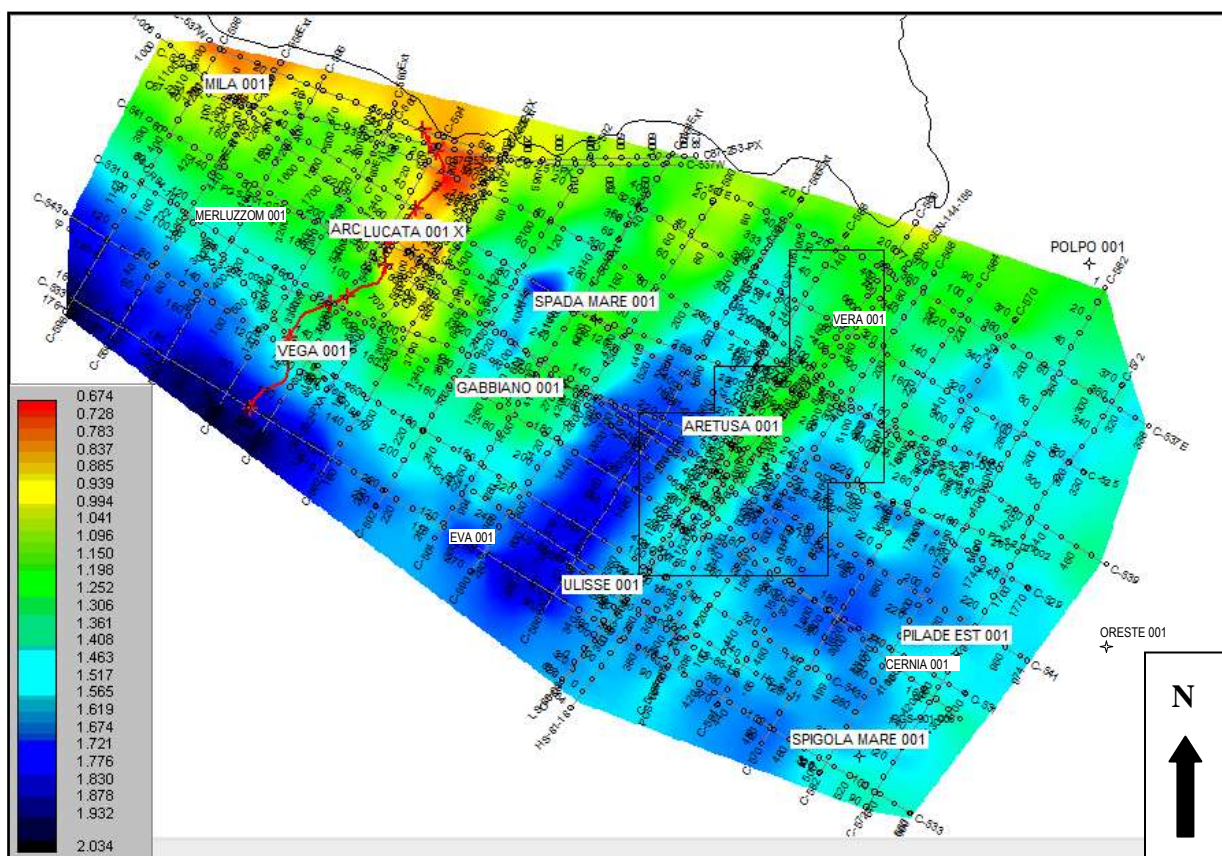


Figura 4.8: Grid relativo al limite superiore della Fm. Hybla (Albiano p.p.). La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

Formazione Amerillo

Al di sopra del tetto della Fm Hybla si trovano i depositi della Fm Amerillo; questa successione sedimentaria non coincide con quella definita dai geologi di cantiere in quanto si è volontariamente scelto di spostare il limite inferiore della sequenza in corrispondenza di una porzione più argillosa riconoscibile all'interno della sottostante Fm Hybla. Il tetto e la base della Fm Amerillo sono perforati da 15 dei 16 pozzi sparsi nell'area di indagine e solo il pozzo Vera 1 (profondo 1911 metri), posto in prossimità della linea sismica C-586, attraversa la porzione superiore e quella centrale della sequenza. Nella porzione intermedia della sequenza sedimentaria della Fm Amerillo si trova un grande quantitativo di vulcaniti distinguibili sulle sezioni sismiche grazie alla loro facies sismica sorda come visibile sulla sezione sismica C – 586 distante dal pozzo Vera 1 all'incirca 0.27 km e nei cuttings. Lo spessore di questa formazione geologica attraversata da 15 pozzi, varia da un massimo di 985 metri (pozzo Pilade Est 1) fino ad un minimo di 210 metri (pozzo Oreste 1). I logs visibili nel pozzo mostrano caratteristiche differenti a seconda delle litologie attraversate. Sulla base dei cuttings è possibile riconoscere i calcari al cui interno, soprattutto nella porzione inferiore, sono presenti sia noduli di selce sia intercalazioni marnoso/argillose e le lave basaltiche. In

corrispondenza dei calcari le curve dei logs mostrano il seguente andamento: bassi valori di gamma ray e alti valori di resistività e sonico. Queste tre curve, confrontate con l'andamento delle medesime nei soprastanti depositi della Fm Ragusa, mostrano un andamento rettilineo. In prossimità dei livelli basaltici, invece, le curve dei logs mostrano un andamento completamente opposto: si ha una forte deflessione verso destra della curva di gamma ray (aumento del contenuto di elementi radioattivi) e un'altrettante forte deflessione verso sinistra per le curve di resistività e del sonico (diminuzione della resistività e della velocità). Queste variazioni sono definite rispetto ai calcari costituenti la Fm Amerillo.

In questa sismofacies, grazie alle linee sismiche, si individua una base e un tetto; la prima coincide con l'orizzonte (buona continuità laterale ed elevati valori di ampiezza) geometricamente più alto della coppietta di riflettori appartenente al tetto della Fm Hybla, mentre il secondo consiste in un unico orizzonte con buona continuità laterale e con valori di ampiezza da medi ad alti. Quest'ultimo limite segna il passaggio tra due facies sismiche riflettive entrambe costituite da riflettori piano paralleli continui lateralmente. Per poterle distinguere è necessario valutare la presenza di corpi vulcanici; nella sottostante facies sismica si riconoscono facies sorde e caotiche attribuite rispettivamente alle vulcaniti e alle vulcanoclastiti mentre all'interno della Fm Ragusa non è riconoscibile alcuna traccia dell'attività vulcanica, o quasi.

Dopo aver riconosciuto il limite superiore della Fm Amerillo, grazie ai dati stratigrafici contenuti nei pozzi, si è proceduto tracciando questo riflettore su tutte le linee sismiche (sia cartacee sia digitali) tramite processo di *looping*. Una volta terminato il tracciamento di questo orizzonte in tutta l'area di indagine si è scelto di realizzare il grid di questa superficie con il software Kingdom 8.2 utilizzando l'algoritmo di Flex Gridding. La profondità (in tempi doppi) a cui si trova questa superficie varia da 1.733 secondi (colore blu scuro), nei settori sud-occidentali, a 0.308 secondi (colore rosso), nei settori nord-orientali come mostra la scala di colori presenti in basso a sinistra in Figura 4.9.

Il risultato ottenuto con il metodo del gridding è quello visibile in Figura 4.9; in essa è possibile riconoscere tre strutture rilevate allungate in direzione NNE – SSW separate da altrettanti settori depressi allungati nella medesima direzione. L'analisi delle linee sismiche poste nella porzione nord-orientale dell'area di studio permettono di riconoscere, grazie all'analisi delle facies sismiche, la presenza di un grosso edificio vulcanico. Sulle sezioni sismiche parallele alla linea di costa, procedendo da SW verso NE, si distinguono le seguenti facies sismiche: una sismofacies costituita prevalentemente da riflettori continui lateralmente e coinvolti nella fase deformativa, una facies caotica in cui ci sono vulcanoclastiti ed infine una facies sorda attribuita alle vulcaniti. Dal grid di Figura 4.16 si osserva che questo enorme

corpo vulcanico prosegue fuori dall'area di studio verso NE e si estende sia verso i settori orientali sia verso quelli settentrionali. Analizzando con cura l'elaborato realizzato manualmente e relativo ai corpi vulcanici presenti tra il tetto della Fm Hybla (Albiano p.p.) e la porzione inferiore della Fm Ragusa (Eocene), si nota che, all'interno della Fm Amerillo, è presente un enorme corpo vulcanico allungato al bordo settentrionale, nord-orientale ed orientale dell'area. In corrispondenza di questo corpo vulcanico, sempre all'interno della Fm Amerillo, si ha la convergenza dei riflettori lungo i fianchi dell'edificio vulcanico. Sempre con l'ausilio delle facies sismiche, oltre a questo grosso edificio vulcanico, è possibile distinguere altri corpi vulcanici più piccoli di forma lentiforme allungati in direzione NE – SW e localizzati ad oriente.

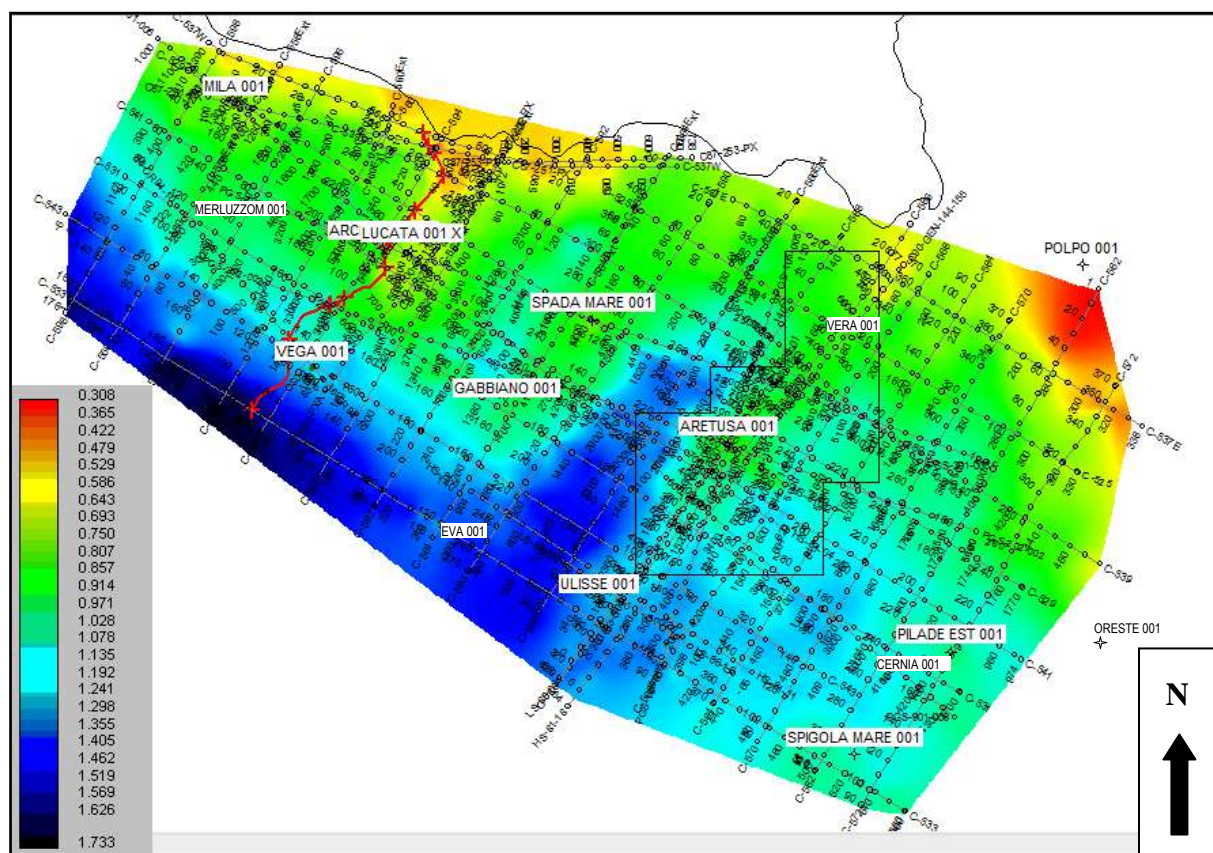


Figura 4.9: Grid relativo al limite superiore della Fm. Amerillo (Maastrichtiano). La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

Formazione Ragusa

La Fm Ragusa è perforata dai seguenti pozzi: Archimede 1, Aretusa 1, Eva 1, Gabbiano 1, Lucata 001x, Merluzzo mare 1, Mila 1, Spada Mare 1, Spigola mare 1, Ulisse 1 e Vega 1. Nei restanti cinque pozzi (Cernia 1, Oreste 1, Pilade Est 1, Polpo 1, Vera 1), durante la fase di perforazione, non è attraversata la Fm Ragusa bensì le Formazioni Cozzo Cugni e Monti Climiti. Nei settori occidentali lo spessore della Fm Ragusa varia da un minimo di 203 metri

(pozzo Archimede 1) fino ad un massimo di 1235 metri (pozzo Ulisse 1); in quelli orientali, invece, lo spessore totale è dato dalla somma degli spessori delle due formazioni geologiche varia da 726 metri (pozzo Polpo 1) a 1471 metri (pozzo Oreste 1).

Analizzando l'andamento delle curve dei logs rispetto a quello dei sottostanti depositi non si distingue un andamento rettilineo bensì uno frastagliato e caratterizzato da numerosi picchi (più abbondanti nella porzione inferiore della successione) responsabili di continue deflessioni sia verso destra sia verso sinistra. Lungo la successione sedimentaria della Fm Ragusa, nella curva di gamma ray, si riconosce un primo intervallo con altissimi valori di gamma ray i quali diminuiscono verso la base della successione secondo un andamento a campana (procedendo dall'alto verso il basso si ha la diminuzione del contenuto di elementi radioattivi). Nella curva di resistività e in quella del sonico si ha un andamento molto frastagliato, caratterizzato da numerose deflessioni sia verso destra sia verso sinistra alcune delle quali anche di notevole importanza. L'andamento generale di queste due curve mostra che i valori di resistività e quelli di velocità sono minori rispetto a quelli registrati per i sottostanti depositi e maggiori rispetto a quelli soprastanti.

Sulla base delle informazioni stratigrafiche provenienti dai pozzi a disposizione in questo lavoro di tesi, si nota come la Fm Ragusa sia presente nei soli settori occidentali e orientali; ad Est, invece, i pozzi perforano la Fm Cozzo Cugni e la Fm Monti Climiti. Dato il diverso ambiente deposizionale e il diverso contenuto litologico riconosciuto dall'analisi dei cuttings da parte degli stratigrafi è possibile affermare che, procedendo da NW verso SE, si verifica un passaggio laterale di facies non visibile dall'andamento delle facies sismiche. È inoltre da notare che la sequenza di quella che è riconosciuta come la Fm Ragusa mostra una componente marnosa assente nella porzione orientale e meridionale dell'area. Questa eteropia di facies trova conferma nel lavoro di Antonelli et al. (1988); in questo lavoro gli autori descrivono un diverso tipo di sedimentazione nei settori orientali della zona di Ragusa rispetto a quelli occidentali.

L'analisi delle linee sismiche permette di affermare che, grazie alle facies sismiche e grazie alle geometrie che esse mostrano sui profili sismici, non si riconoscono grandi corpi vulcanici né come vulcaniti né come vulcanoclastiti. Alla base della sequenza si possono distinguere le vulcaniti sulle linee sismiche C – 560 (shot 207 – 240) e su quella C – 537E tra gli shot 140 – 180 e le vulcanoclastiti sulle sezioni C – 564 (shot 234 - 276), C – 568 (dallo shot 319 fino a fine sezione), C – 537 E (shot 122 – 145 e 175 - 200), C – 537 W (shot 577 - 643) e C – 539 (shot 145 – 211). A parte queste poche tracce dell'attività vulcanica, non si riconoscono altre zone in cui sono presenti degli edifici vulcanici.

A differenza di quanto visto nei grids relativi al tetto di tutte le sottostanti formazioni geologiche, si nota una diversità nell'andamento del limite superiore della Fm Ragusa. Questa superficie non mostra alcun tipo di deformazione tanto che non è possibile individuare né zone depresse né rilievi. Nel risultato ottenuto con il software Kingdom 8.2 (Figura 4.10) si vede che il tetto della Fm Ragusa è debolmente inclinato verso SW. I settori in cui questa superficie raggiunge la profondità massima (colore blu scuro) sono quelli sud-occidentali dove il tetto è a 1.509 secondi mentre quelli in cui la profondità è minima (colore arancione) sono a 0.104 secondi.

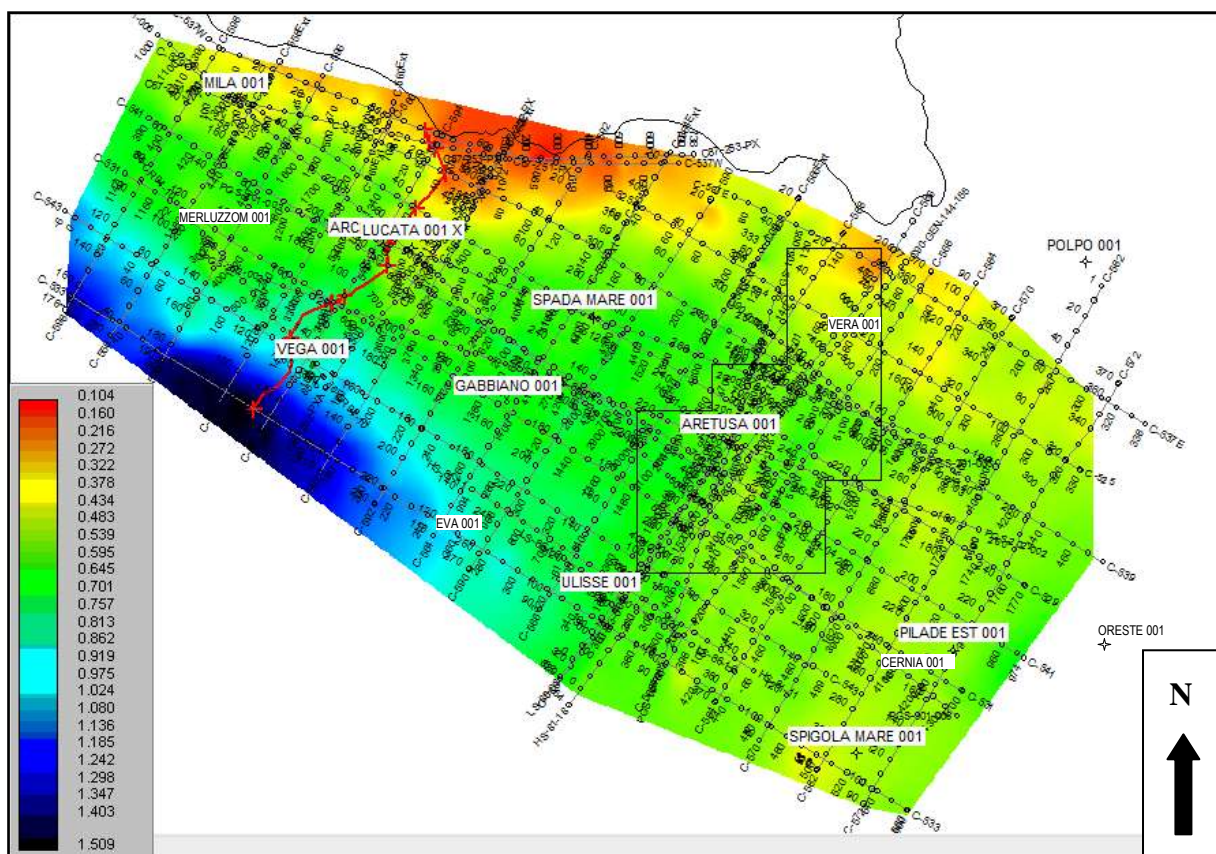


Figura 4.10: Grid relativo al limite superiore della Fm. Ragusa. La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

Sulle linee sismiche presenti nell'area di indagine si nota che i riflettori compresi tra il tetto della Fm Ragusa e il sottostante limite superiore della Fm Amerillo hanno un andamento differente a seconda della profondità (in tempi) considerata. Al di sopra del tetto della sottostante Fm Amerillo, i riflettori sono in convergenza su entrambi i fianchi delle pieghe anticlinali generando cunei convergenti; questa situazione è visibile nella sola porzione centrale dell'area sulle linee sismiche parallele alla linea di costa che tagliano, quasi perpendicolarmente, le strutture compressive. Solo dalla porzione intermedia della Fm Ragusa i riflettori hanno andamento piano parallelo e non sono interessati da alcun tipo di deformazione.

Formazione Tellaro

Tra la sottostante Fm Ragusa e la soprastante Fm Gessoso Solfifera si trova la Fm Tellaro. Questa successione sedimentaria consiste in marne e argille come mostrano i cuttings analizzati dagli stratigrafi in laboratorio. Sulle linee sismiche, la Fm Tellaro si presenta come un corpo isopaco per lo più trasparente nella porzione occidentale e centrale dell'area di indagine; questo corpo, verso Est, diventa riflettivo. Il tetto di tale sequenza corrisponde al riflettore geometricamente più profondo di cui è costituita la coppia di riflettori attribuita alla Fm Gessoso Solfifera, mentre la sua base è rappresentata da un singolo orizzonte con buona continuità laterale e con alti valori di ampiezza. Quest'ultimo mette a contatto due diverse sismofacies: una trasparente soprastante (Fm Tellaro) e una sottostante più riflettiva (Fm Ragusa).

Sia sulle sezioni sismiche in formato cartaceo sia in quelle in formato digitale si è deciso di non tracciare il limite superiore della Fm Tellaro al fine di non avere due riflettori molto vicini. Per capire l'andamento in pianta di questa superficie, si può fare riferimento al grid relativo al limite superiore della Fm Gessoso Solfifera (Figura 4.13), nel quale si osserva una debole inclinazione verso SW. Il tetto della Fm Tellaro, come il tetto della Fm Ragusa, non sono coinvolti in alcun tipo di deformazione.

La Fm Tellaro è perforata dai seguenti pozzi localizzati nella porzione occidentale e centrale dell'area di indagine: Archimede 1, Aretusa 1, Cernia 1, Eva 1, Gabbiano 1, Lucata 001x, Merluzzo 1, Mila 1, Pilade Est 1, Spada mare 1, Spigola mare 1, Ulisse 1, Vega 1 e Vera 1. Lo spessore attraversato da questi pozzi varia da un minimo di 220 metri (pozzo Spada Mare 1) ad un massimo di 569 metri (pozzo Pilade Est 1). In tutti questi pozzi i cuttings consistono in marne e argille; le curve dei logs, invece, mostrano le seguenti caratteristiche: la curva del gamma ray mostra una deflessione verso destra mentre le restanti due curve (resistività e sonico) registrano una deflessione verso sinistra; questi cambiamenti sono confrontati con l'andamento delle medesime curve all'interno dei depositi soprastanti (Fm Gessoso Solfifera). L'andamento delle curve dei logs, rispetto ai sottostanti depositi (Fm Ragusa), è l'inverso. Il limite inferiore e quello superiore della sequenza sono netti e facilmente visibili dall'andamento di tutte e tre le curve dei logs. Procedendo dal tetto verso la base di questa successione si nota la diminuzione del valore di gamma ray (minore contenuto di elementi radioattivi) e l'aumento del valore di resistività e di velocità. Nel pozzo Spada Mare 1, verso la base di questa successione alla profondità di 560 metri, si individuano livelli di limitato spessore responsabili di una deflessione verso sinistra del gamma ray e picchi verso destra nella resistività e nel sonico. Sulla base delle informazioni provenienti dall'analisi dei

frammenti di cuttings, queste deflessioni sono dovute alla presenza di rocce calcaree di limitato spessore (Figura 4.11).

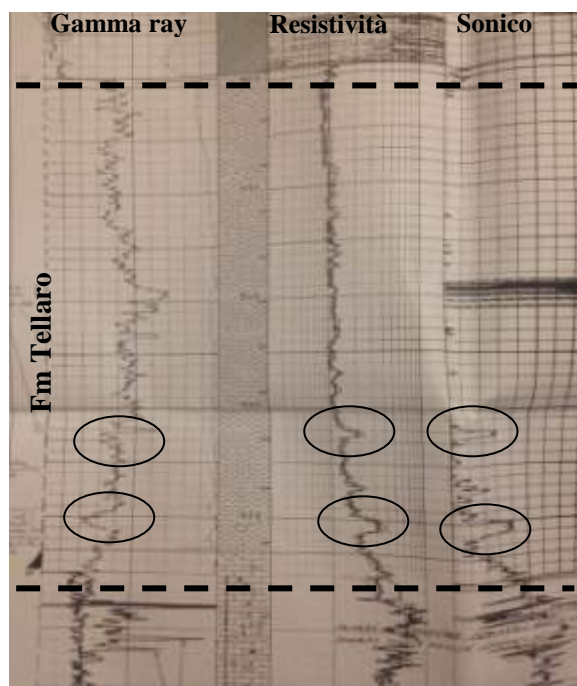


Figura 4.11: Andamento delle curve di logs relative alla Fm Tellaro nel pozzo Spada mare 1. I cerchi di colore nero indicano i picchi (visibili in tutte e tre le curve) legati alla presenza di rocce calcaree alla base della Fm Tellaro.

L'interpretazione delle facies sismiche permette di affermare che non ci sono corpi vulcanici all'interno della Fm Tellaro.

Formazione Gessoso Solfifera

Su tutte le sezioni sismiche (sia su quelle in formato cartaceo sia su quelle in formato digitale) è possibile riconoscere una doppietta di riflettori distinguibile per gli alti valori di ampiezza e per la buona continuità laterale (dai settori occidentali fino a quelli orientali).

Durante la fase di taratura, questa coppia di riflettori è attribuita alla sequenza della Fm Gessoso Solfifera. Osservando le informazioni stratigrafiche contenute in tutti i pozzi, è possibile notare che lo spessore di questa sequenza è molto ridotto (tra un minimo di 64 metri nel pozzo Ulisse 1 fino ad un massimo di 240 metri nel pozzo Vega 1). È pertanto possibile affermare che il limite superiore di questa sequenza sedimentaria corrisponde al primo riflettore della doppietta, mentre la sua base al secondo. L'elevato spessore riscontrato nel pozzo Vega 1 (240 metri) è dovuto, molto probabilmente, al fatto che tale pozzo attraversa la Fm Gessoso Solfifera in un punto in cui essa è inclinata come si vede sulla linea sismica C - 594.

Dopo aver tarato questa coppia di riflettori e averla tracciata tramite *loop* su tutte le linee sismiche (dove possibile) si è scelto di realizzare il grid di questi orizzonti con il programma Kingdom. Il grid ottenuto, visibile in Figura 4.13, mostra l'andamento di questa superficie in pianta. Grazie alla scala di colori, si riconosce nella porzione sud-occidentale la massima profondità (1.216 secondi), mentre in altri settori localizzati a Nord e a Nord-Est, quella minima (0.124 secondi).

Questa formazione è perforata dai seguenti pozzi: Archimede 1, Aretusa 1, Eva 1, Gabbiano 1, Merluzzo 1, Spada Mare 1, Ulisse 1, Vega 1 e Vera 1. I restanti pozzi, localizzati per lo più nella porzione nord-orientale e in quella orientale dell'area, non attraversano mai la Fm Gessoso Solfifera, infatti tale coppia di riflettori non è più tracciabile verso NE e E. Sulle linee sismiche disposte nella porzione orientale dell'area di indagine non è presente il riflettore di colore verde scuro relativo al limite superiore della Fm Gessoso Solfifera. Nel grid di Figura 4.13 si nota che, verso Est, il software Kingdom interpola l'andamento di questa superficie ipotizzando un andamento sub-orizzontale distinguibile dalla colorazione gialla (profondità di 0.337 secondi).

Nei pozzi in cui è perforata questa sequenza, le tre curve di logs mostrano un andamento analogo: la curva di gamma ray subisce una forte deflessione verso sinistra (diminuzione dell'argillosità), mentre per le curve di resistività e del sonico si ha una deflessione verso destra (aumento del valore di resistività e velocità); queste variazioni delle curve di logs sono confrontate con l'andamento delle medesime nei depositi sopra e sottostanti (Figura 4.12).

I cuttings riconosciuti dai geologi di pozzo consistono in gessi e anidriti che confermano le forti variazioni visibili dall'andamento delle curve dei logs.

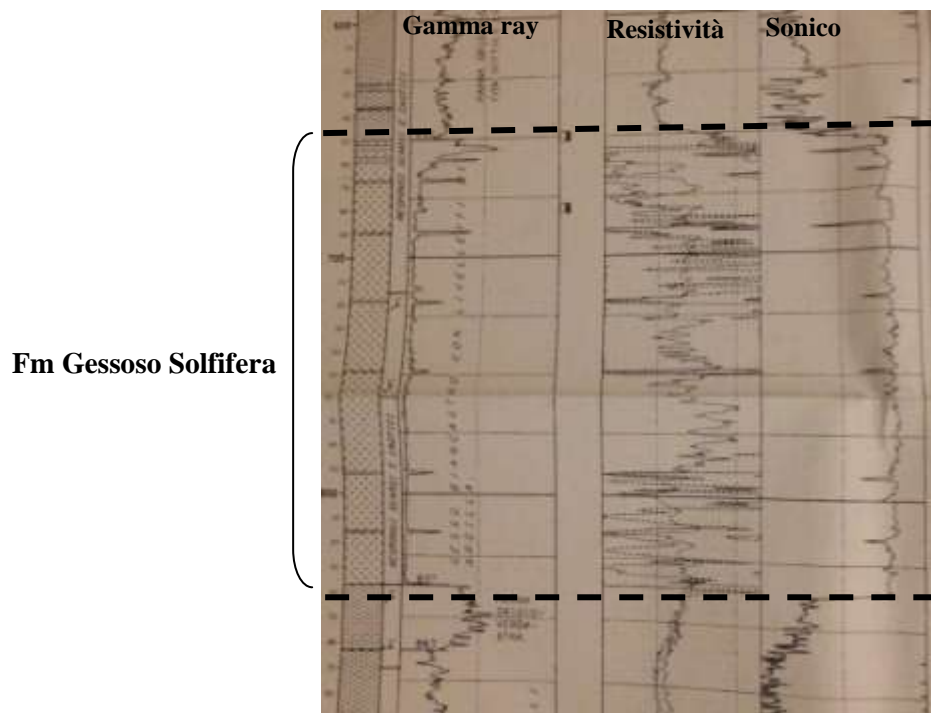


Figura 4.12: Deflessione verso sinistra della curva di gamma ray e verso destra in quelle di resistività e sonico in corrispondenza della Fm Gessoso Solifera (Pozzo Eva 1).

L'analisi sismostratigrafica rivela l'assenza di corpi vulcanici all'interno di questa formazione.

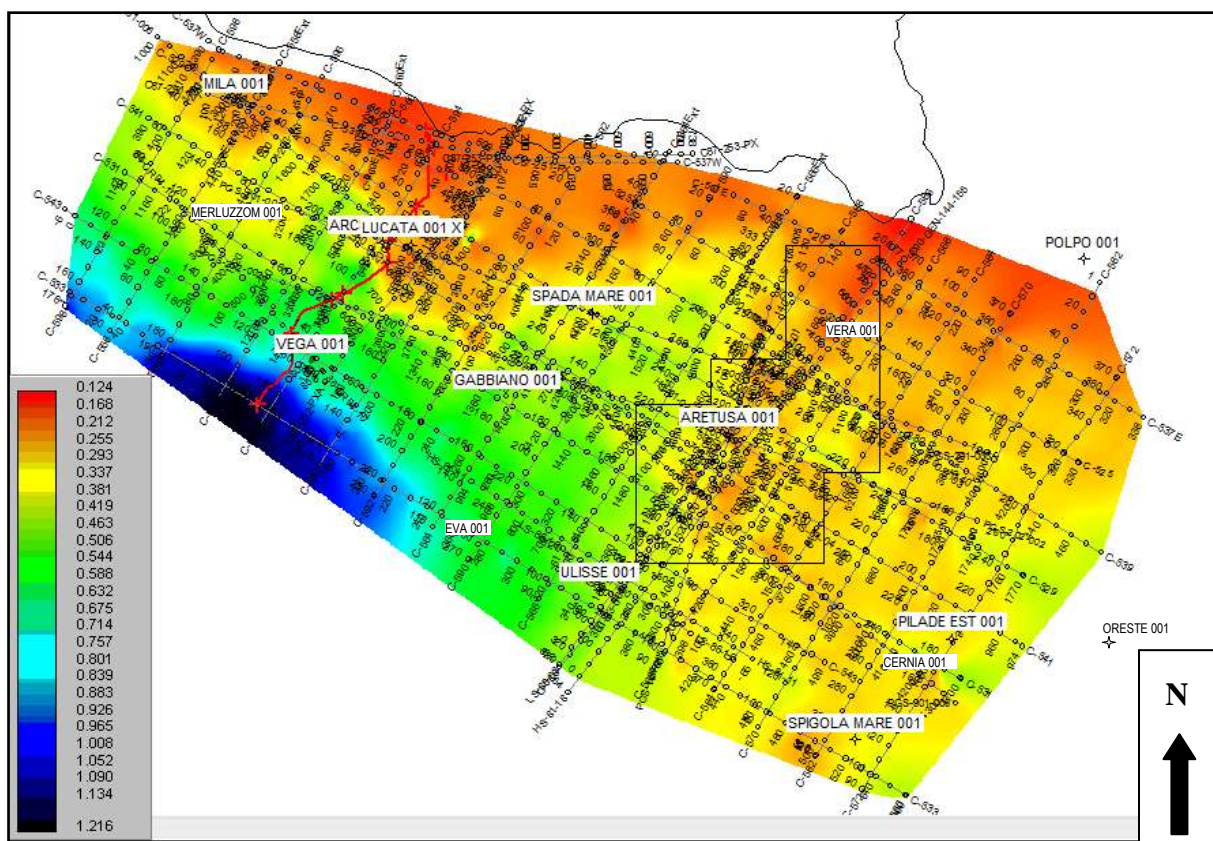


Figura 4.13: Grid relativo al limite superiore della Fm. Gessoso Solifera. La scala di colori in basso a sinistra si riferisce ai valori temporali (s), espressi in tempi doppi (TWT), a cui si trova il riflettore tracciato sul programma Kingdom 8.2.

Depositi pliocenici e quaternari

Al di sopra del limite superiore della Fm Gessoso Solfifera si trovano i depositi più recenti risalenti ad un intervallo di tempo compreso tra il Pliocene e il Quaternario. Questi sedimenti sono stati perforati dai seguenti pozzi: Archimede 1, Aretusa 1, Eva 1, Gabbiano 1, Merluzzo 1, Spada mare 1, Ulisse 1, Vega 1 e Vera 1. Osservando la distribuzione areale dei pozzi si nota che questi sono localizzati nella porzione settentrionale, in quella centrale e in quella occidentale dell'area. Come si vede sulle linee sismiche localizzate nei settori orientali e sud-orientali, i restanti pozzi (7), attraversano una minima parte dei depositi plio-pleistocenici. Le informazioni stratigrafiche contenute in questi pozzi sono assenti in quanto, durante la fase perforativa, i geologi di cantiere non raccolsero cuttings. Per spiegare la situazione appena descritta si può utilizzare il grid relativo al limite superiore della Fm Gessoso Solfifera il quale mostra l'andamento dell'omonima sequenza sedimentaria; sulle sezioni sismiche in formato cartaceo e su quelle in formato digitale questo orizzonte è segnato in colore verde scuro. Nel grid di Figura 4.13 si può notare che il tetto della Fm Gessoso Solfifera raggiunge la profondità massima nei settori sud-occidentali dove il riflettore si trova a 1.216 secondi e quella minima in corrispondenza dei settori settentrionali e quelli nord-orientali (0.124 secondi). Data la maggiore profondità a cui si trova il limite superiore della Fm Gessoso Solfifera, a SW, sulle sezioni sismiche si può notare che nella porzione sud-occidentale lo spessore dei depositi plio-pleistocenici è massimo. Tutti i pozzi prima citati si trovano nei punti in cui lo spessore di questi sedimenti è minimo; pertanto per ognuno di essi le informazioni conosciute provengono dai pochi cuttings raccolti e dall'andamento delle curve dei logs. Da queste ultime si osservano alti valori di gamma ray (deflessioni verso destra) e bassi valori di resistività e velocità (deflessioni verso sinistra) rispetto ai depositi sottostanti, rappresentati dai gessi e dalle anidriti della Fm Gessoso Solfifera. Gli spessori attraversati da questi pozzi variano da un minimo di 54 metri (pozzo Gabbiano 1) fino ad un massimo di 452.5 metri (pozzo Vega 1). Gli elevati spessori raggiunti in quest'ultimo pozzo sono forse dovuti, come si vede sulla linea sismica C – 594, all'inclinazione del tetto della Fm Gessoso Solfifera immergente a SW; questo non implica che anche i soprastanti depositi plio-pleistocenici siano immergenti verso SW.

L'interpretazione delle linee sismiche sia di quelle cartacee sia di quelle digitali, ha permesso di ricostruire i diversi eventi deposizionali che hanno interessato l'area di studio.

L'analisi delle linee sismiche C – 533 e C – 535, perpendicolari alla linea di costa, ha portato al riconoscimento di un corpo trasparente al di sopra del quale si impostano due famiglie di clinoformi. La prima è costituita da terminazioni asintotiche sia verso l'alto (toplap) che verso il basso (downlap); data la geometria di queste clinoformi si riconosce un progressivo

allontanamento di esse dalla linea di costa (allontanamento dalla zona di sorgente) noto come progradazione. Al tetto e alla base di queste strutture sedimentarie non si riconosce aggradazione; pertanto si può affermare che l'apporto detritico che alimenta tali strutture sedimentarie proviene da un'area collocata a E (al di fuori dell'area di studio) in un periodo in cui non era in atto una fase di subsidenza.

Al di sopra di questa famiglia di clinoformi è riconoscibile un secondo gruppo di clinoformi con caratteristiche differenti sulle sezioni sismiche C – 533 e C – 535 parallele alla linea di costa.

Sulla linea C – 535, al di sopra del toplap delle sottostanti clinoformi, se ne depositano delle altre il cui punto di inizio è più spostato verso NW. Il topset della seconda famiglia di clinoformi si presenta aggradante e progradante allo stesso tempo, i foresets sono obliqui e progradanti mentre il bottomset termina in downlap. Dall'interpretazione delle strutture sedimentarie si vede che si ha subsidenza nei settori di alimentazione, ma non in quelli di deposizione.

Nella linea sismica C – 533 si vede che i bottomset delle clinoformi più recenti appartenenti alla prima famiglia, verso NW (da inizio sezione fino allo shot 73), condensano al di sopra di una zona rilevata. La presenza di questo alto morfologico, e le sue relazioni con i sedimenti circostanti, permettono di riconoscere un'attività deformativa in atto durante il Plio-Pleistocene.

Al di sopra della prima famiglia di clinoformi se ne trova una seconda a partire dallo shot 227. Il punto in cui si trova la prima clinoforme della seconda famiglia è più spostato verso SE. Diversamente da quanto visto sulla linea sismica C-533 si ha l'avanzamento della linea di costa verso il mare. In queste strutture sedimentarie è possibile riconoscere terminazioni toplap e downlap rispettivamente per il topset e il bottomset; i foresets sono obliqui e progradanti.

In Figura 4.14 è mostrata una porzione della linea sismica C – 533 in cui si possono distinguere le due famiglie di clinoformi.

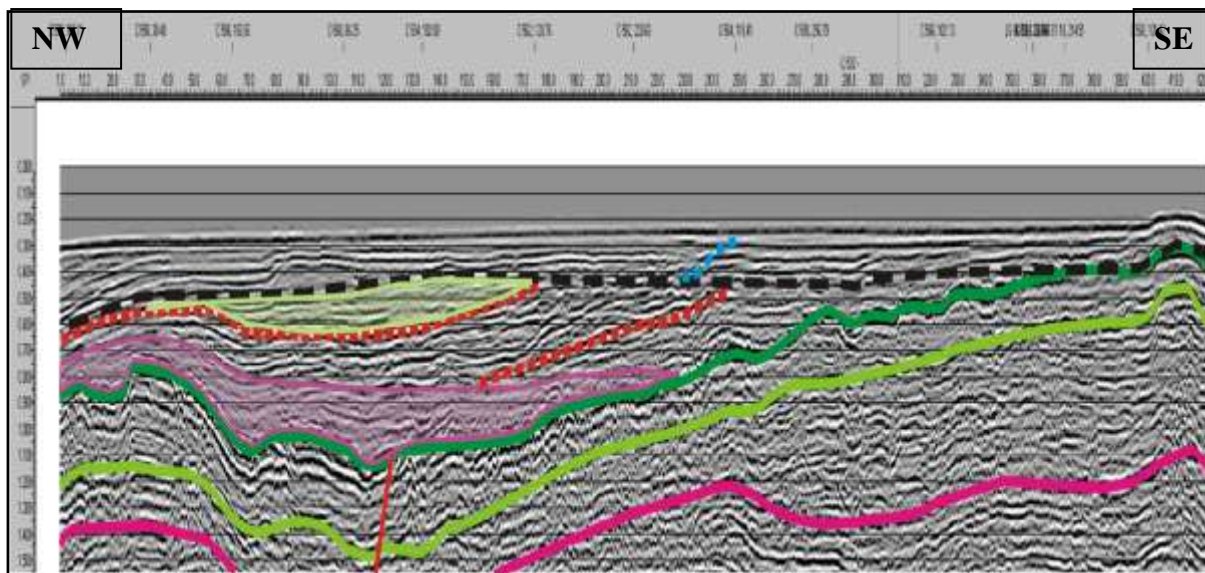


Figura 4.14: Sezione sismica C – 533 (shot 1 – 420). In questo profilo sismico si riconoscono, a partire dall'alto, i seguenti riflettori: limite superiore Fm Gessoso Solfifera (verde scuro), limite superiore Fm Ragusa (verde chiaro) e limite superiore Fm Amerillo (fucsia). Le linee rosse tratteggiate delimitano l'inizio e la fine, rispettivamente a SE e a NW, della prima famiglia di clinoformi. La linea blu tratteggiate segna l'inizio della seconda famiglia di clinoformi. Il poligono di colore verde olivina segna un gruppo di clinoformi in prossimità di un alto morfologico mentre quello di colore fucsia delimita il corpo trasparente deposto al di sopra del tetto della Fm Gessoso Solfifera. La linea nera tratteggiate segna la superficie contro cui terminano i top delle clinoformi del primo gruppo.

Al di sopra di tutte le famiglie di clinoformi finora descritte si trovano riflettori orizzontali interpretabili come tops aggradanti di una terza famiglia di clinoformi localizzata più a NW o come semplici riflettori orizzontali sigillanti tutte le strutture sedimentarie sottostanti.

Anche sulle linee perpendicolari alla linea di costa, dalla C – 596 alla C – 590, è possibile riconoscere le clinoformi delle quali non sono sempre ben riconoscibili il topset, il foreset e il bottomset.

Sulle linee perpendicolari alla linea di costa, dalla sezione sismica C – 560 alla C – 562, si riconosce un corpo trasparente posto al di sopra della Fm Gessoso Solfifera, analogo a quello già descritto per le sezioni sismiche parallele alla linea costa. Al di sopra di questo livello trasparente si riconoscono altre clinoformi, alimentate da una zona rilevata presente a NE al di fuori dell'area di studio. Tali strutture sedimentarie mostrano terminazioni inferiori in downlap senza aggradazione, foreset obliqui e poco inclinati e toplap aggradanti alternati a toplap in cui si ha condensazione. Sulla base della geometria riconosciuta in queste clinoformi si può definire una situazione di progradazione favorita da un'alimentazione proveniente dai settori nord-orientali.

Dalla sezione sismica C – 592 fino alla C – 590 e sulla linea C - 596 si riconoscono condizioni deposizionali differenti. Su questi profili sismici si vede come la depressione generata dal tetto della Fm Gessoso Solfifera è più piccola rispetto a quella visibile sulle altre linee sismiche. All'interno di questa depressione, al di sopra della Fm Gessoso Solfifera, si

depone prima un corpo trasparente e poi le clinoformi; le terminazioni superiori di tali strutture sedimentarie sono tutte in toplap contro una superficie orizzontale. Anche in questo caso la geometria di queste clinoformi indica la presenza di una zona di alimentazione collocata nei quadranti nord-orientali. A copertura di tutte le clinoformi, la sedimentazione prosegue con riflettori piano paralleli.

Nelle zone più rilevate, al di sopra della Fm Gessoso Solfifera, non sono riconoscibili le clinoformi, ma solo i topset di strutture sedimentarie deposte nei settori sud-occidentali (per le linee perpendicolari alla linea di costa) e nord-occidentali (per le sezioni sismiche parallele alla linea di costa) al di fuori dell'area di studio. Lo spessore dei depositi plio-quadernari è limitato e tra la base di questi sedimenti e la Fm Gessoso Solfifera è presente una lacuna temporale dovuta ad un'attività erosiva o ad una di non deposizione.

Se l'alimentazione di queste clinoformi provenisse da SE sulle linee parallele alla linea di costa si riconoscerebbero bene i topset, i foreset e i bottomset mentre sulle linee ad esse perpendicolari si troverebbero solamente riflettori orizzontali e viceversa. Nel nostro caso, però, sono riconoscibili strutture sedimentarie sia sulle sezioni sismiche perpendicolari sia su quelle parallele alla linea di costa della Sicilia sud-orientale. Per questo motivo si può affermare che la zona di alimentazione di queste clinoformi è posta in una zona intermedia tra NE e SE e potrebbe essere a ESE al di fuori dell'area di studio.

All'interno di questi depositi non sono presenti corpi vulcanici né come vulcaniti né come vulcanoclastiti.

B. Corpi vulcanici

La fase di analisi ha permesso di riconoscere, su numerose linee sismiche, sia le vulcaniti sia le vulcanoclastiti. Le prime costituiscono l'edificio vulcanico vero e proprio e mostrano una facies sorda mentre le seconde una sismofacies caotica. Sulla sezione sismica C – 537E di Figura 4.15 (shot 74 – 210), disposta parallelamente alla linea di costa, all'interno della Fm Amerillo si distinguono le seguenti zone:

- una porzione centrale in cui si trova l'edificio vulcanico costituito da vulcaniti (V);
- al di sopra dei fianchi dell'edificio vulcanico, sia a destra sia a sinistra, si hanno le vulcanoclastiti (VS);
- nei settori più distanti dal corpo vulcanico si ha la deposizione della sola sequenza sedimentaria della Fm Amerillo (S), riconoscibile per la facies sismica riflettiva; quest'ultima non sarà descritta in questo paragrafo.

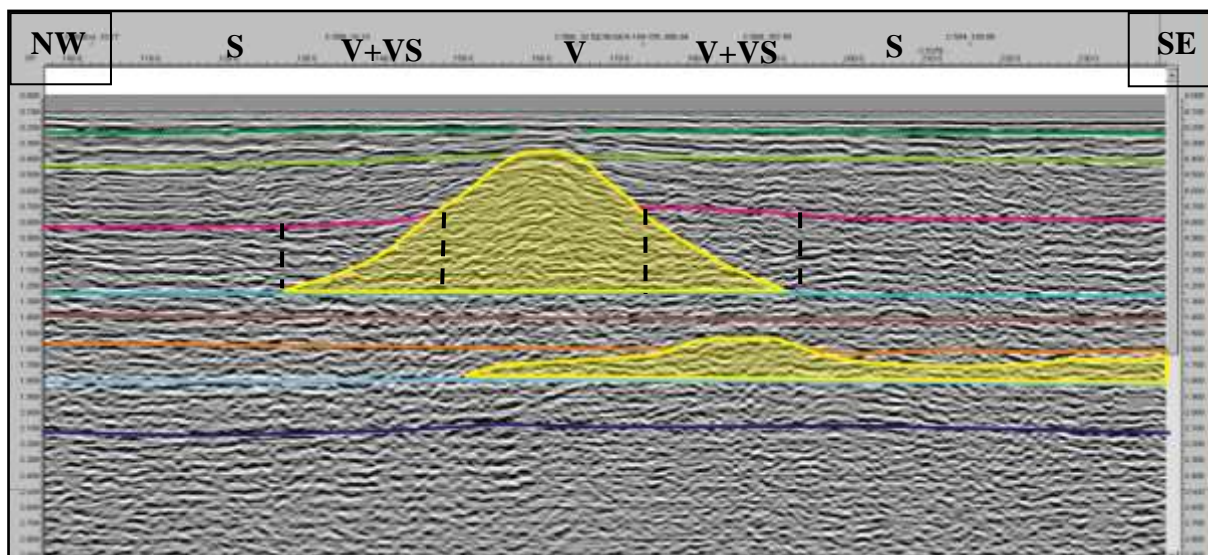


Figura 4.15: Sezione sismica C - 537E (shot 74 - 210). In colore giallo sono segnati due corpi vulcanici: il primo, quello geometricamente più superficiale è posto tra il limite superiore della Fm Ragusa (colore verde chiaro) e il tetto della Fm Hybla (colore azzurro) mentre il secondo, quello geometricamente più profondo, si trova all'interno della Fm Buccheri (compresa tra l'orizzonte di colore arancione e quello di colore acquamarina) e, in minima parte, anche nella soprastante Fm Chiaramonte. Le lettere riportate in alto si riferiscono alle tre diverse sismofacies riconosciute nella Fm Amerillo. Partendo dalla porzione centrale della linea sismica e procedendo verso l'esterno troviamo: le vulcaniti (V), le vulcanoclastiti (VS) ed infine i sedimenti (S) privi di alcuna intercalazione basaltica.

Le informazioni relative ai corpi vulcanici provengono sia dall'interpretazione delle facies sismiche sia dai dati stratigrafici contenuti nei pozzi. Alcuni di questi perforano il top di edifici vulcanici di grosse dimensioni come nel pozzo Vera 1, altri attraversano piccoli livelli vulcanici intercalati nella sequenza sedimentaria (pozzo Gabbiano 1).

Alla fine della fase interpretativa, e dopo il riconoscimento di tutti i corpi vulcanici presenti nell'area, si è deciso di riportare su tre elaborati gli edifici vulcanici riconosciuti in ognuna delle sezioni sismiche. Ognuno dei tre elaborati realizzati si riferisce ad un intervallo, distinto nel seguente modo:

1. limite superiore della Fm Hybla (Albiano p. p.) – porzione inferiore della Fm Ragusa (Eocene);
2. limite superiore della Fm Streppenosa (Sinemuriano s. str.) – limite superiore della Fm Hybla (Albiano p. p.);
3. al di sotto del limite superiore della Fm Streppenosa (Sinemuriano s. str.)

Si è scelto di realizzare tre elaborati suddividendo le sezioni sismiche in tre intervalli delimitati al tetto e alla base da coppie di riflettori con elevati valori di ampiezza e buona continuità laterale. Il primo elaborato si riferisce ai corpi vulcanici presenti tra il tetto della Fm Gessoso Solifera e il limite superiore della Fm Hybla; la seconda a quelli posti tra il limite superiore di quest'ultima formazione e il tetto della Fm Streppenosa e l'ultima, la terza, comprende tutti gli edifici vulcanici presenti al di sotto del limite superiore della Fm Streppenosa. Quest'ultima carta di base si riferisce ai corpi vulcanici contenuti all'interno

della Fm Streppenosa e nelle formazioni geologiche sottostanti. In questo caso non è possibile porre un limite inferiore per questo intervallo in quanto le informazioni stratigrafiche disponibili nei pozzi si fermano alla porzione centrale della Fm Streppenosa.

In precedenza si è affermato che sulle sezioni sismiche, per mezzo delle facies sismiche, si possono distinguere le vulcaniti dalle vulcanoclastiti. Questa distinzione non è sempre possibile, ma è in relazione alla qualità della linea sismica. Nel primo elaborato è sempre possibile distinguere, e pure con facilità, le vulcaniti dalle vulcanoclastiti. Ciò è dovuto al fatto che la risoluzione sismica di questi profili è buona fino a circa 1.5 secondi (TWT) di profondità e peggiora a partire da 2.0 – 2.5 secondi. È inoltre da ricordare che questo non è sempre vero, infatti in alcuni casi, come sulla sezione sismica C – 533, la risoluzione è buona fino a 3 secondi. Nella seconda carta di base, più in profondità, la distinzione tra vulcaniti e vulcanoclastiti può esser applicata solo in due casi: all'interno della Fm Chiaramonte e nella Fm Modica.

In generale, su tutte le sezioni sismiche, si ha la diminuzione della risoluzione sismica all'aumentare della profondità. Questa situazione è dovuta al fatto che all'aumentare della profondità (e quindi della distanza percorsa) l'onda sismica perde parte della propria energia. Per questo motivo nella terza carta di base, relativa ai corpi vulcanici più profondi, si possono identificare grossolanamente gli edifici vulcanici senza però poter distinguere tra vulcaniti e vulcanoclastiti.

Di seguito sono descritte le forme e le caratteristiche di ognuno degli edifici vulcanici riconosciuti sulle linee sismiche e riportati sulle tre carte di base, a partire da quelli più superficiali per arrivare a quelli più profondi. Queste informazioni provengono dall'analisi di tutti i profili sismici e dai dati stratigrafici contenuti nei pozzi.

Il primo elaborato raccoglie le informazioni relative ai corpi vulcanici i quali si trovano tra la base della Fm Amerillo (Albiano p.p.) e la porzione inferiore della Fm Ragusa (Eocene), come visibile in Figura 4.16. Data la buona risoluzione delle linee sismiche si è proceduto alla distinzione, su tutti i profili sismici, delle vulcaniti dalle vulcanoclastiti. Le prime, rappresentate in colore blu cielo, si trovano ristrette alla porzione settentrionale, nord-orientale e meridionale dell'area mentre le seconde, di colore azzurro, si estendono sia verso Sud sia verso NW.

Le vulcaniti costituiscono due edifici, di enormi dimensioni, localizzati nella porzione settentrionale e in quella meridionale dell'area, entrambe in prossimità dei bordi. Nel primo, localizzato a Nord e a Nord-Est, non si distingue una forma particolare. Al suo interno, sulla base di quanto visibile nella carta di base, si riconoscono due direzioni preferenziali di

allungamento: N 55 e N 155 come mostrato dalle frecce nere riportate in Figura 4.16. Da questo edificio vulcanico, sia verso NW sia verso S, è possibile riconoscere numerose intercalazioni basaltiche; esse sono riconoscibili solo nella Fm Amerillo.

Nella porzione inferiore della Fm Ragusa si trovano le vulcaniti e le vulcanoclastiti; le prime sono riconosciute sulle sezioni sismiche C – 560 (shot 207 – 240) e su quella C – 537E tra gli shot 140 – 180, mentre le seconde si vedono sulle seguenti linee sismiche: C – 564 (shot 234 – 276), C – 568 (dallo shot 319 fino a fine sezione), C – 537 E (shot 122 – 145 e 175 – 200), C – 537 W (shot 577 – 643) e C – 539 (shot 145 – 211). I pozzi che attraversano questo corpo vulcanico sono il pozzo Vera 1 e il pozzo Polpo 1, che perforano le vulcaniti, e il pozzo Spada mare 1 che attraversa le vulcanoclastiti; quest'ultimo è localizzato sulla linea sismica C – 529 allo shot 1'479. In questo profilo sismico, alla profondità di 0.79 s (TWT), è presente una facies caotica attribuita, durante la fase interpretativa, alle vulcanoclastiti. Utilizzando le informazioni stratigrafiche contenute nei pozzi è possibile affermare che la sismofacies caotica si trovi tra l'orizzonte fucsia e il riflettore azzurro; il primo corrisponde al tetto della Fm Amerillo mentre il secondo corrisponde al limite superiore della Fm Hybla. Nel pozzo Spada mare 1, tra i 1'240 e i 1'561 metri di profondità, la curva del gamma ray mostra una deflessione verso destra riconosciuta dall'andamento della medesima curva nei depositi sopra e sottostanti. Le curve di resistività e del sonico, invece, si comportano in modo diverso; esse mostrano continue deflessioni sia verso destra sia verso sinistra indicando continui aumenti e continue diminuzioni di questi valori; queste continue deflessioni non trovano un legame con l'andamento della curva di gamma ray registrata nel medesimo pozzo. Nel pozzo Spada mare 1 è registrata anche una quarta curva (potenziale spontaneo SP) la quale però non fornisce alcuna informazione; in essa si riconosce un andamento rettilineo con locali deflessioni verso sinistra.

Da 1'233 metri di profondità fino a 1'670 metri nel pozzo Vera 1 si ha, rispetto ai depositi soprastanti, un forte aumento di gamma ray (deflessione verso destra). Le curve di resistività e quella del sonico mostrano piccole deflessioni verso sinistra nell'intervallo tra 1'233 e 1'375 metri; da 1'375 metri fino a 1'670 metri, invece, i valori registrati da queste ultime due curve aumentano nuovamente.

Proiettato sulla linea sismica C – 568 (shot 330) alla distanza di 700 metri si trova il pozzo Vera 1. L'analisi sismica della linea C - 568 permette di individuare, alla profondità di 0.8 secondi (TWT) una facies sismica sorda. Utilizzando le informazioni provenienti dall'analisi delle sezioni sismiche e le curve di logs contenute nel pozzo Vera 1 si può distinguere, alla profondità di 1'233 metri, una deflessione verso destra della curva di gamma ray e verso sinistra delle curve di resistività e velocità. La base di questo edificio vulcanico non è

riconoscibile né tramite i dati stratigrafici né con quelli geofisici. Osservando le sismofacies, sulle linee sismiche perpendicolari alla linea di costa, si nota l'aumento di spessore (calcolato in tempi) delle facies sorde sia verso N sia verso NE. Sulle sezioni sismiche parallele alla linea di costa, in particolare verso SE, si osserva una situazione analoga a quella appena descritta.

Per ognuno dei limiti superiori delle formazioni geologiche riconosciute nell'area si è deciso di realizzare, con il programma Kingdom, il grid. Considerando contemporaneamente l'andamento del tetto della Fm Hybla più profondo, e quello della Fm Amerillo si osserva che nella porzione settentrionale e in quella nord-orientale dell'area si riconosce la diminuzione della profondità a cui si trovano entrambi i riflettori. La buona risoluzione presente nella porzione superiore delle linee sismiche permette di distinguere, sulla base delle sismofacies, le rocce vulcaniche dai depositi costituenti la successione sedimentaria bacinale come visibile in Figura 4.15. Procedendo da W verso E si incontrano due limiti: il primo si riferisce al passaggio da una facies riflettiva ad altre più caotiche mentre nel secondo si attraversa prima una sismofacies caotica e poi una sorda, quest'ultima costituisce il corpo dell'edificio vulcanico. I limiti riportati sulla carta di base sono supportati dai dati ottenuti da Patacca et al. (1979) nel loro lavoro. In quest'ultimo, tramite isobate e sulla base dei cuttings, sono riportati gli edifici vulcanici riconosciuti nell'onshore di Ragusa.

Le vulcaniti sono attraversate anche da un secondo pozzo localizzato al bordo dell'area di indagine e distante dalla linea sismica C – 570 circa 1.1 km (pozzo Polpo 1). Le curve dei logs contenute in questo pozzo sono, da sinistra verso destra, il potenziale spontaneo, la resistività e il sonico. Dalla profondità di 673 fino a 1187 metri i geologi di cantiere hanno riconosciuto rocce piroclastiche e lave basaltiche. La curva del potenziale spontaneo (SP), posta a sinistra, ha un andamento rettilineo e solo in pochi casi, peraltro di limitato spessore, subisce delle deflessioni verso sinistra. Queste ultime sono interpretate dai geologi di pozzo come livelli calcarei intercalati all'interno di una successione vulcanica. Sulla sezione sismica C – 570, alla profondità di 1.67 s (TWT), si riconosce il top del corpo vulcanico.

Sulla carta di base, nella porzione meridionale dell'area, è riportato un altro edificio vulcanico allungato in direzione NE – SW (N 45); poco distante da questo corpo si trova il pozzo Spigola mare 1 il quale non contiene alcuna informazione relativa a questo tipo di attività vulcanica. A differenza del corpo vulcanico presente nella porzione settentrionale dell'area, non si riconosce alcuna traccia di vulcanoclastiti, infatti le facies visibili nel settore meridionale dell'area sono sorde.

Oltre a questi due corpi vulcanici, grazie all'ausilio della carta di base, si distinguono tre piccoli apparati vulcanici di piccole dimensioni. Il primo, posto a NW, ha forma subcircolare

ed è separato dagli altri corpi vulcanici; in esso si distinguono, sulle linee sismiche C – 560 e PGS 301 – 006, le vulcaniti. Le vulcanoclastiti, invece, sono visibili sia sulle due linee sismiche citate in precedenza sia sulla C – 529. Gli altri due corpi vulcanici, di forma lenticolare, sono immersi all'interno delle vulcanoclastiti e sono riconoscibili sulle linee sismiche C – 572 (shot 78 – 208) e C – 574. In prossimità della sezione sismica C – 572, a circa duecento metri di distanza da essa, si trova il pozzo Pilade Est 1. Su questa sezione sismica, le facies sismiche, permettono di riconoscere un corpo lenticolare con facies sorda immerso in una sismofacies caotica. La prima delle due sismofacies è interpretata come vulcaniti mentre la seconda come intercalazioni vulcaniche all'interno della sequenza sedimentaria.

Nel pozzo Pilade Est 1, dalla profondità di 1'537 metri, si registra un cambiamento nell'andamento delle curve dei logs: aumenta il gamma ray (deflessione verso destra), diminuisce la resistività (fortissima deflessione a sinistra) ed aumenta la velocità (deflessione verso destra). Le deflessioni appena descritte sono riconoscibili osservando l'andamento delle medesime curve di logs nei soprastanti depositi. Gli stratigrafi, tra la profondità di 1'537 metri e 2'388 metri, hanno distinto prima i tufi (1'537 – 2'040 m) e poi i basalti (2'040 – 2'388 m). Nel primo intervallo (1'537 e 1'730 metri) la curva di gamma ray registra la deflessione verso destra sia rispetto alle litologie soprastanti sia quelle sottostanti; nel secondo intervallo (1'730 e 2'040 metri) il gamma ray ha un andamento generalmente rettilineo con locali deflessioni verso destra; la curva di resistività e quella di velocità non mostrano alcuna variazione. Da 2'040 fino a 2'388 metri di profondità si nota una maggiore variabilità nelle curve dei logs. Tutte e tre queste curve mostrano un andamento seghettato con continue oscillazioni sia verso destra sia verso sinistra. Questa porzione, interpretata dai geologi di pozzo come una continua alternanza di rocce calcaree e intercalazioni basaltiche, è distinguibile dal cambiamento di facies visibile sul profilo C – 572.

Il corpo lenticolare definito in precedenza, e con una facies sorda, poggia su una sismofacies caotica attribuita alle vulcanoclastiti. Il tetto di questo corpo lenticolare si trova ad una profondità di 1'537 metri mentre la base è a 2'040 metri. Il top di questo edificio vulcanico è riconoscibile dal cambiamento di tutte e tre le curve dei logs mentre, in corrispondenza del fondo, esse hanno un andamento rettilineo.

Riguardo al secondo corpo vulcanico, presente sulla linea C – 574 (shot 198 – 238), non si hanno molte informazioni data la sua lontananza dai pozzi. Come per il caso precedente, è possibile identificare una facies sorda immersa in una caotica il cui top è a 0.86 secondi di profondità (TWT). Mentre per il caso precedente si possono distinguere le vulcanoclastiti poste al di sotto del corpo vulcanico, in questo caso, l'edificio vulcanico poggia direttamente

sul riflettore di colore azzurro (tetto Fm Hybla). Al di sopra e a destra di questo piccolo corpo vulcanico si distingue una facies sismica caotica in cui si riconoscono riflettori con scarsa continuità laterale e disposti in modo casuale. Questa sismofacies prosegue verso l'alto arrivando fino al riflettore di colore fucsia.

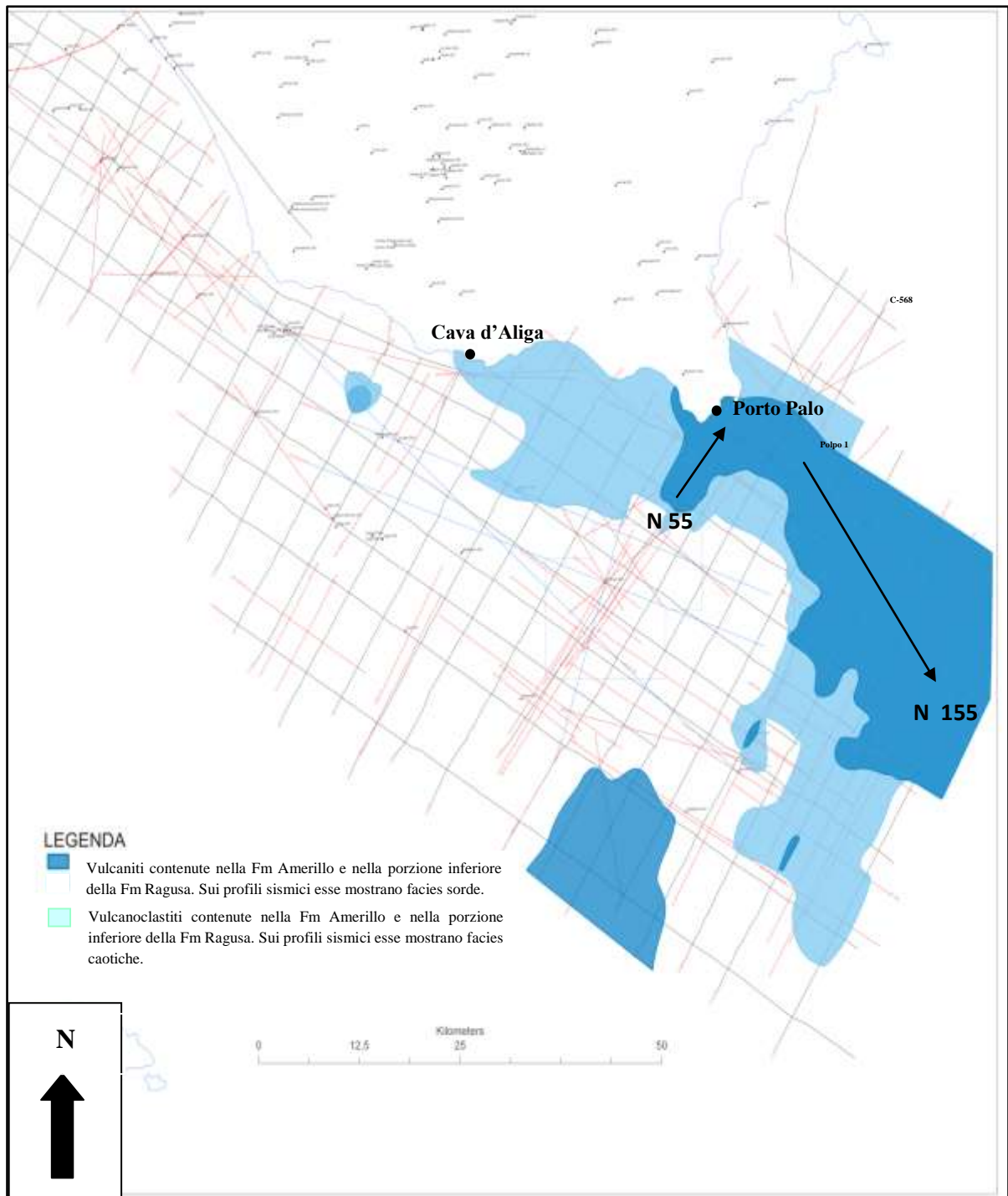


Figura 4.16: Corpi vulcanici compresi tra la base della Fm Amerillo (Albiano p.p.) e la porzione inferiore della Fm Ragusa (Eocene).

Il secondo elaborato, visibile in Figura 4.20, riporta i corpi vulcanici compresi tra il tetto della Fm Streppenosa e il limite superiore della Fm Hybla in un intervallo temporale compreso tra

il Sinemuriano s. str. e l'Albiano p. p. Gli edifici vulcanici tracciati in questo elaborato giacciono all'interno delle seguenti formazioni riportate dal basso verso l'alto geometrico: Modica, Buccheri, Chiaramonte e Hybla. Per distinguere i corpi vulcanici all'interno di questi depositi sono stati adoperati quattro colori diversi; azzurro – blu i corpi vulcanici presenti nella Fm Modica, verde i corpi vulcanici presenti nella Fm Buccheri, rosso – arancione i corpi vulcanici presenti nella Fm Chiaramonte e viola i corpi vulcanici presenti nella Fm Hybla. Per le Formazioni Chiaramonte e Modica si è scelto di utilizzare due colori: uno per distinguere le vulcaniti (blu e rosso) e l'altro per le vulcanoclastiti (azzurro e arancione). All'interno di queste due successioni sedimentarie, nella porzione nord-occidentale dell'area, si trovano due edifici vulcanici compresi tra la C – 596 e la C – 564, escluse. Le vulcaniti (colore rosso e blu) di questi corpi vulcanici sono distribuite parallelamente alla linea di costa nell'offshore di Ragusa mentre le vulcanoclastiti (colore arancione e azzurro) si trovano verso SE tra la linea sismica C – 529 e C – 541 incluse.

L'interpretazione delle sismofacies ha permesso di distinguere, all'interno di queste quattro formazioni geologiche, corpi vulcanici sia di piccole che di grandi dimensioni. I primi sono riconosciuti nelle Formazioni Hybla e Chiaramonte e sono sparsi prevalentemente nella porzione centrale dell'area; i secondi si trovano sia in queste ultime due formazioni sia nella Fm Buccheri sia nella Fm Modica. Quest'ultima attività vulcanica è localizzata nei settori settentrionali, orientali e sud-orientali dell'area e riguarda gli edifici vulcanici più grandi.

In Figura 4.20, diversamente da quanto è visibile nelle altre due, si trovano corpi vulcanici localizzati nella porzione centrale dell'area di indagine sulle linee sismiche C – 531 (shot 1272 – 1297), C – 533 (shot 193 – 215), C – 560 (shot 131 – 150), C – 562 (shot 69 – 87 e 199 - 229), C – 592 (shot 265 - 197), C – 594 (shot 124 - 100) e 1 – 86CR 94 – 10 (shot 550 – 760). In Figura 4.17 si vede un corpo vulcanico localizzato tra il riflettore di colore azzurro e quello di colore marrone.

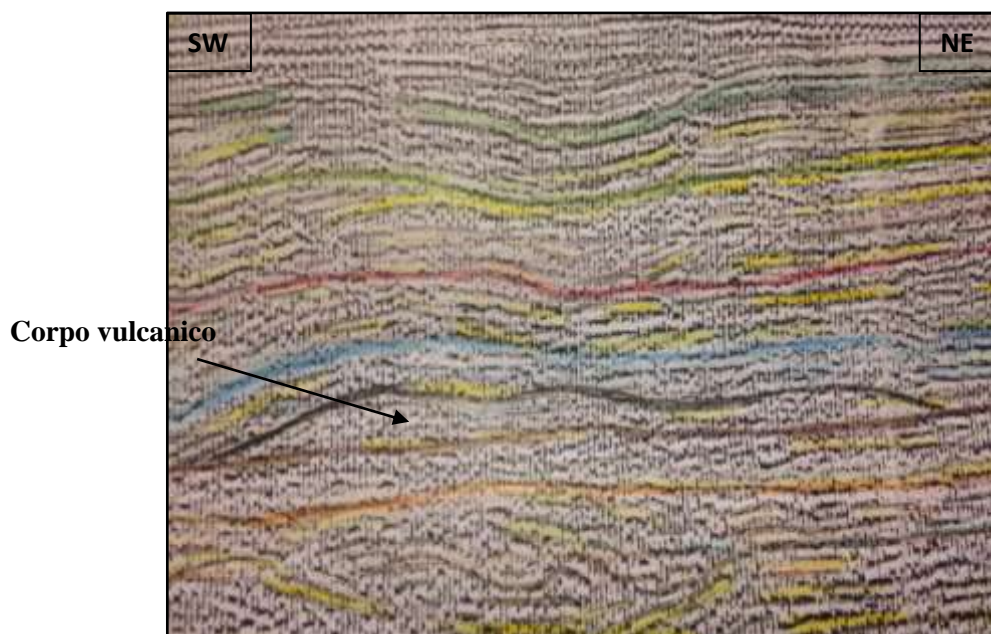


Figura 4.17: Porzione della linea sismica C - 560 compresa tra gli shots 133 - 165. All'interno della Fm Hybla, in colore nero, è segnato il top di un corpo vulcanico la cui base coincide con il riflettore di colore marrone. A partire dall'alto si riconoscono i seguenti riflettori: tetto della Fm Gessoso Solifera (verde scuro), tetto della Fm Ragusa (verde chiaro), tetto della Fm Amerillo (fucsia), tetto della Fm Hybla (azzurro), tetto della Fm Chiaramonte (marrone) e tetto della Fm Buccheri (arancione).

Oltre la precedente distinzione effettuata sulla base delle dimensioni dei corpi vulcanici, è possibile farne un'altra sulla base del numero di intervalli (definiti tra un top e il successivo) attraversati da ognuno degli edifici vulcanici (Figura 4.18).

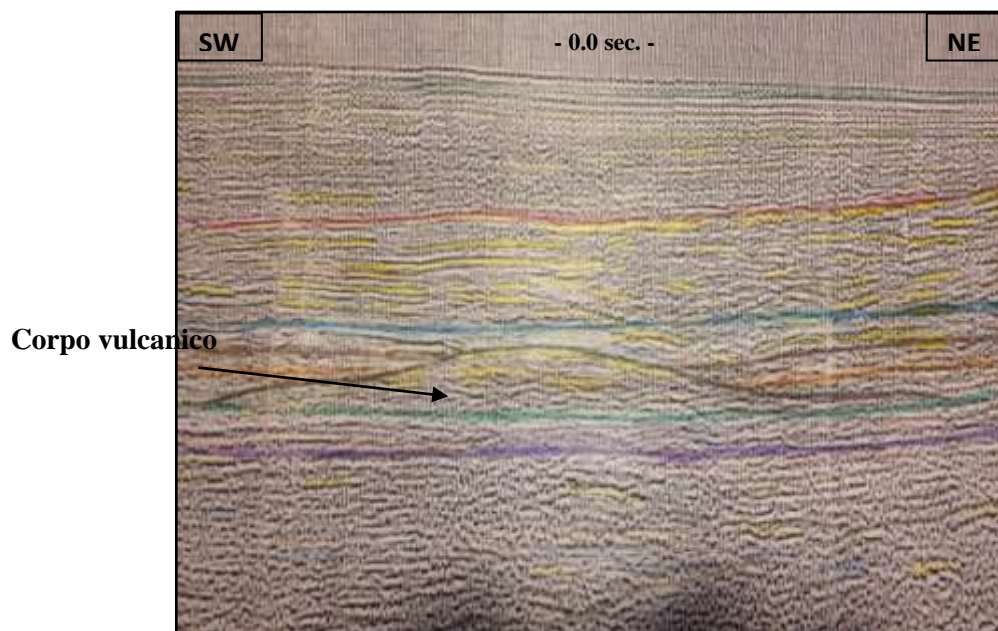


Figura 4.18: Porzione della linea sismica C - 570 tra gli shots 311 - 365. In questo profilo si nota un edificio vulcanico nella Fm Buccheri, Fm Chiaramonte e nella porzione inferiore della Fm Hybla. Dall'alto si riconoscono i seguenti riflettori: tetto della Fm Amerillo (fucsia), tetto della Fm Hybla (azzurro), tetto della Fm Chiaramonte (marrone), tetto della Fm Buccheri (arancione), tetto della Fm Modica (blu cielo) e tetto della Fm Streppenosa (viola scuro).

Nell'elaborato relativo ai corpi vulcanici compresi tra il limite superiore della Fm Streppenosa (Sinemuriano s. str.) e quello della Fm Hybla (Albiano p.p.) si nota, che gli edifici vulcanici di più piccole dimensioni sono quelli che si trovano all'interno delle Fm Hybla e della Fm

Chiaramonte posti nella porzione centrale dell'area. Altri corpi vulcanici, di dimensioni maggiori, sono disposti subparalleli alla linea di costa e si estendono dalla linea sismica C – 596 fino al pozzo Polpo 1; essi hanno forma da subcircolare a debolmente allungata in una direzione NW – SE.

Gli edifici vulcanici rimanenti sono tendenzialmente orientati NNE – SSW e sono localizzati nella porzione orientale e in quella sud-orientale.

Lungo la linea di costa della Sicilia sud-orientale si trovano numerosi corpi vulcanici di forma subcircolare o allungati in direzione NW – SE. Questi edifici vulcanici si trovano all'interno dei depositi delle Formazioni geologiche Hybla, Chiaramonte, Buccheri e Modica e spesso vi sono più apparati vulcanici sovrapposti. Il primo di questi casi è quello riconosciuto nella porzione nord-occidentale dell'area a Sud dell'abitato di Cava d'Aliga (Rg). A Sud di questo paese si trovano due corpi vulcanici e di ognuno di essi si riconoscono le vulcaniti e le vulcanoclastiti.

Procedendo verso SE si trovano altri tre edifici di forma subcircolare disposti sulla stessa verticale; l'ultimo di questi, quello più superficiale, interessa i depositi della Fm Chiaramonte e la porzione inferiore della soprastante Fm Hybla. Sui profili sismici C – 529, C – 539 e C – 590 è possibile osservare che i riflettori all'interno di queste due formazioni geologiche terminano in onlap lungo i fianchi dell'edificio vulcanico. Anche rispetto ai due corpi vulcanici sottostanti, le terminazioni dei riflettori sono in onlap; per questo motivo è possibile affermare che la messa in posto di tutti e tre questi corpi vulcanici è precedente la deposizione di ognuna delle sequenze sedimentarie all'interno delle quali sono riconosciuti. L'ultimo apparato vulcanico è disposto parallelamente alla linea di costa ed è localizzato a SE dell'abitato di Porto Palo all'interno delle Formazioni: Buccheri, Chiaramonte e Hybla. La base di questo corpo vulcanico è in corrispondenza del tetto della Fm Modica mentre il suo tetto interessa la porzione inferiore della sequenza sedimentaria della Fm Hybla (shot 179 – 206). L'interpretazione delle facies sismiche visibili sulle linee sismiche (C – 523, C – 525, C – 537E, C – 568, C – 570, C – 586 e C – 584) mostra che i riflettori compresi tra il limite superiore della Fm Modica e quello della Fm Chiaramonte terminano in onlap su entrambi i fianchi dell'edificio vulcanico. Tale situazione permette di affermare che la messa in posto di questo enorme corpo vulcanico è precedente la deposizione dei sedimenti compresi tra il tetto della Fm Modica e quello della Fm Chiaramonte (Figura 4.19).

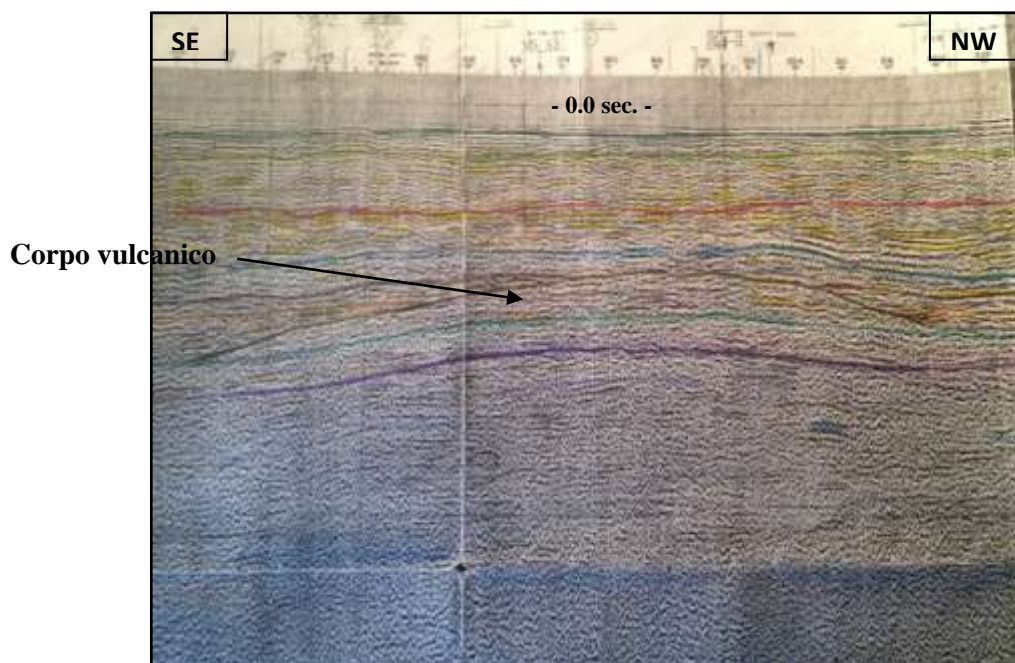


Figura 4.19: Profilo sismico C-525 tra gli shots (127-228). In questo profilo si riconosce un corpo vulcanico la cui base poggia sul riflettore di colore blu cielo (limite superiore della Fm Modica) mentre il suo top si trova all'interno nei depositi della Fm Buccheri (colore arancione), della Fm Chiaramonte (colore marrone) e nella porzione inferiore della Fm Hybla (colore azzurro). Gli altri orizzonti presenti sono (dall'alto geometrico): limite superiore della Fm Gessoso Solifera (verde scuro), limite superiore della Fm Ragusa (verde chiaro) limite superiore della Fm Amerillo (fucsia) e limite superiore della Fm Streppenosa (viola scuro).

Procedendo da NW verso SE, i pozzi disposti lungo la linea di costa sono Archimede 1 e Lucata 001x, entrambi proiettati sul profilo sismico C – 541, il pozzo Spada mare 1 (sulla linea sismica C - 529) ed infine il pozzo Vera 1 (proiettato sulla sezione sismica C - 586).

L'analisi delle curve dei logs e delle informazioni provenienti dal cuttings log contenute nei pozzi Archimede 1 e Lucata 001x permette di affermare che all'interno della sequenza sedimentaria, tra quello che è definito il limite superiore della Fm Buccheri e il sottostante tetto della Fm Modica si trovano dei corpi vulcanici. Nel primo pozzo, Archimede 1, si ha la deflessione verso destra della curva di gamma ray (aumento del contenuto in argille rispetto ai soprastanti depositi calcarei) accompagnata da una forte deflessione verso sinistra della curva del sonico (diminuzione dei valori di velocità) nell'intervallo compreso tra 2'127 e 2'460 metri. La curva di resistività, invece, è illeggibile, in quanto il suo andamento è fuori scala. Nel secondo pozzo, Lucata 001x, ad una profondità di 1'720 metri si registra l'aumento della curva di gamma ray (deflessione verso destra) il quale è riconoscibile fino alla profondità di 1'960 metri. Nel medesimo intervallo si osserva una generale deflessione verso sinistra delle curve di resistività con l'alternanza di intervalli più resistivi separati da quelli meno. Per la curva del sonico, invece, si ha un andamento rettilineo all'interno del quale non è possibile distinguere una vera e propria deflessione né verso destra né verso sinistra. Le informazioni riportate nel cuttings logs di entrambi i pozzi mostrano la presenza di lave basaltiche in maggior quantità e tufi (minor quantità) interpretabili come intercalazioni dei secondi

all'interno dei primi. Questa situazione permetterebbe di spiegare sia le facies sismiche sorde visibili sulle sezioni sismiche in prossimità di questi pozzi sia l'andamento delle curve di resistività e sonico. Sul profilo sismico C – 541 sono distinguibili sismofacies caotiche le quali farebbero ipotizzare la presenza di vulcanoclastiti anche all'interno dei depositi della Fm Chiaramonte, ma le informazioni stratigrafiche contenute in Archimede 1 e Lucata 001x non sono di supporto per l'interpretazione della linea sismica. A partire dalla linea sismica C – 541, questa facies sismica non si trova in una porzione limitata, ma può esser seguita anche su altri profili sismici. Per questo motivo è possibile affermare che tra il tetto delle Fm Chiaramonte e il limite superiore della Fm Buccheri si trovino delle intercalazioni basaltiche all'interno della sequenza sedimentaria.

Il pozzo Spada mare 1 è localizzato sulla linea sismica C – 529. Dall'analisi della Figura 4.20 si vedono due corpi vulcanici sovrapposti, localizzati all'interno dei depositi della Fm Modica e in quella della soprastante Fm Buccheri. Le sismofacies visibili su questo profilo sismico si presentano caotiche con riflettori discontinui e disposti in modo casuale. Data la scarsa risoluzione della linea sismica C – 529 non è possibile affermare con certezza se si tratta di vulcanoclastiti o di vulcaniti. Le informazioni stratigrafiche contenute nel pozzo Spada mare 1 non consentono né di confermare né di smentire la situazione visibile sulla sezione sismica. Le curve dei logs presenti in questo pozzo sono quattro (da sinistra verso destra): il gamma ray, il potenziale spontaneo, la resistività e il sonico. Né con le informazioni provenienti dall'analisi dei cuttings né tramite l'interpretazione delle curve dei logs, è possibile riconoscere i livelli basaltici intercalati all'interno della sequenza sedimentaria. All'interno dei depositi attribuiti alla Fm Buccheri si riconosce una deflessione verso destra nella curva di gamma ray (aumento) rispetto ai sedimenti della Fm Modica, accompagnata da una deflessione verso sinistra nelle altre curve dei logs. A parte queste informazioni su un maggiore contenuto in argille nella Fm Buccheri rispetto la sottostante Fm Modica non è possibile riconoscere ulteriori differenze. Si può inoltre notare che queste curve non hanno un andamento rettilineo bensì seghettato indice di continue deflessioni da valori molto bassi ad altri molto alti. Si può affermare che non è possibile trovare una correlazione tra le sismofacies visibili nei profili sismici e i dati stratigrafici provenienti dall'interpretazione effettuata in laboratorio.

Il pozzo Vera 1 dista dalla linea sismica C - 586 0.269 km e raggiunge la profondità di 1'911 metri. Questo pozzo, data la scarsa profondità di indagine, raggiunge solo i depositi calcarei interpretati dagli stratigrafi come facenti parte della Fm Amerillo.

I corpi vulcanici posizionati nella porzione orientale dell'area sono attraversati dalle seguenti linee sismiche: C – 582 dallo shot 391 fino a 355 (Formazioni Chiaramonte e Hybla), C – 572

(dallo shot 105 fino a fine sezione) dalla base della Fm Modica fino alla porzione inferiore della Fm Chiaramonte ed infine sulla C – 574 (shot 69 – 171) nelle Formazioni Buccheri, Chiaramonte e Hybla. Il primo di questi tre corpi vulcanici si trova nella porzione meridionale dell'area all'interno dei depositi della Fm Chiaramonte e Hybla tra il sottostante limite superiore della Fm Buccheri e quello della Fm Hybla. Data la distribuzione areale di questo edificio (al bordo) non è possibile definire con certezza la sua forma, ma solo un suo allungamento preferenziale in direzione NNE – SSW. Sui profili sismici C – 582 e C – 535 si nota che i riflettori compresi tra il limite superiore della Fm Buccheri e quello della Fm Chiaramonte terminano in onlap contro i fianchi del corpo vulcanico; la sequenza sedimentaria presente nell'intervallo soprastante (tra il limite superiore della Fm Chiaramonte e il tetto della Fm Hybla) è in condensazione sul top dell'edificio vulcanico con la formazione, da entrambi i lati, di cunei convergenti. Lo spessore di questi ultimi è minimo in corrispondenza della sommità e massimo alla base. Il secondo corpo vulcanico, visibile sulla linea sismica C – 572, mostra una morfologia articolata in cui si riconoscono due alti morfologici separati da una depressione posta nella zona centrale. La base di questo edificio vulcanico si trova all'interno dei depositi della Fm Modica al di sopra del limite superiore della Fm Streppenosa; le zone più rilevate attraversano i soprastanti depositi arrivando fino alla porzione inferiore della sequenza della Fm Chiaramonte. I riflettori presenti all'interno delle Formazioni Modica, Buccheri e Chiaramonte terminano in onlap contro i fianchi di questo edificio vulcanico allungato parallelamente alla sezione sismica C – 572. La linea C – 574 attraversa il terzo corpo vulcanico allungato in direzione NNE – SSW; esso interessa i depositi compresi tra la Fm Buccheri e quella Hybla. Anche in questo caso i riflettori visibili nei profili sismici, in prossimità delle facies sorde, terminano in onlap sui fianchi dell'edificio vulcanico. La situazione visibile lungo i fianchi del secondo e del terzo corpo vulcanico indica che la loro messa in posto è precedente la deposizione della successione sedimentaria.

Di tutti e tre questi edifici vulcanici solo il secondo, allungato parallelamente alla linea sismica C – 572, è perforato da due pozzi: Cernia mare 1 (shot 160) e Pilade Est 1 (shot 190). Poco più a SW, in prossimità della linea sismica C – 533 (distante da essa 1.678 km) e C – 582 (distante da essa 2.439 km), si trova il pozzo Spigola mare 1. Il pozzo Cernia 1, distante 0.838 km dalla sezione sismica C – 572, attraversa la successione sedimentaria perforando il tetto e la porzione superiore della Fm Buccheri. All'interno di questi depositi i geologi di pozzo, grazie all'ausilio dei cuttings, hanno riconosciuto la porzione sommitale di un grosso corpo vulcanico. Il top di questo edificio è riconoscibile sia tramite l'interpretazione delle sismofacies sia per mezzo delle curve dei logs. Alla profondità di 2'854 metri, al di sotto di quelli che gli stratigrafi hanno interpretato come depositi della Fm Buccheri, si nota un

aumento del valore di gamma ray (deflessione della curva verso destra) accompagnato da una riduzione della velocità (deflessione verso sinistra) ed un aumento di entrambe le curve di resistività (deflessione verso destra). Da 2'854 metri fino alla profondità di 2'995 metri le tre curve hanno un andamento differente rispetto ai depositi sopra e sottostanti; in questo intervallo sono visibili continue deflessioni sia nella curva del gamma ray sia in quella di resistività; la curva del sonico, procedendo dall'alto verso fine pozzo, registra una progressiva diminuzione del valore di velocità. Tali sedimenti sono interpretati come intercalazioni basaltiche all'interno della sequenza carbonatica. Sulla base delle curve dei logs e dell'interpretazione effettuata da parte dei geologi di pozzo si può affermare che questo primo intervallo (potente 141 metri) consiste in vulcanoclastiti, poste geometricamente al di sopra di un più grosso edificio vulcanico. Osservando l'andamento della curva di resistività e quella di velocità per i depositi compresi nell'intervallo tra 2'995 metri e la fine del pozzo (4'357 metri) si riconosce un andamento rettilineo delle curve con poche deflessioni verso sinistra. Anche la terza curva, quella relativa all'andamento del gamma ray, ha un andamento rettilineo fino alla profondità di 3'488 metri; da questa profondità si verifica una deflessione verso sinistra della curva di gamma ray la quale si assesta a valori più bassi rispetto ai soprastanti depositi. Verso la fine del pozzo (tra 3'921 metri e 4'120 metri di profondità) si possono riconoscere due picchi verso destra nella curva del gamma ray. L'intervallo compreso tra 2'995 e 4'357 metri (spessore di 1'362 metri) costituisce le vulcaniti ovvero l'edificio vulcanico. Dato il ridotto spessore delle vulcanoclastiti e la scarsa risoluzione sismica non è possibile distinguere la facies caotica di questi depositi da quella sorda, tipica delle sottostanti vulcaniti.

Il pozzo Pilade Est 1, distante all'incirca 300 metri dal profilo sismico C – 572, attraversa la medesima sequenza sedimentaria osservata nel pozzo Cernia mare 1. Durante l'interpretazione dei cuttings i geologi di pozzo distinsero, al di sotto della porzione più marnosa della Fm Hybla, un'alternanza di lave basaltiche e tufi argillificati. Dall'andamento delle tre curve dei logs (gamma ray, resistività e sonico) si osserva che mentre la prima curva ha il medesimo andamento sia nei depositi soprastanti sia in quelli sottostanti, le altre due, nell'intervallo compreso tra 2'686 e 2'883 metri, subiscono una forte deflessione verso sinistra rispetto ai sedimenti su cui poggiano. A livello generale si nota che le tre curve dei logs non hanno un andamento rettilineo bensì seghettato come se in questi depositi ci fossero continui cambi litologici. In corrispondenza di questo pozzo, sulla linea sismica C – 572, si riconosce un'unica facies sismica sorda interpretata come il vero corpo vulcanico. All'interno di quest'ultima sismofacies, in alcuni settori, si riconoscono riflettori privi di continuità

laterale. Solo procedendo verso NE si riconosce il passaggio graduale ad una facies più riflettiva con orizzonti più continui lateralmente via via più frequenti.

Poco distante dalle linee sismiche C – 533 e C – 582 si trova il pozzo Spigola mare 1 al cui interno si trovano quattro curve dei logs: a sinistra il gamma ray e il potenziale spontaneo, al centro la curva di resistività ed infine, a destra, la curva del sonico. Sulla base delle informazioni stratigrafiche provenienti dall'analisi dei cuttings, i geologi di pozzo hanno riconosciuto lave basaltiche intercalate all'interno dei depositi attribuiti alla Fm Buccheri. Sul profilo sismico C – 533, tra il tetto della Fm Buccheri e quello della Fm Modica non si riconoscono facies caotiche.

Nella porzione nord-orientale dell'area, in corrispondenza del bordo dell'area di indagine, si riconoscono altri due edifici vulcanici sovrapposti. Di entrambi, data la disposizione al bordo dell'area di indagine, non è possibile distinguere né la forma né l'allungamento. Il corpo vulcanico più profondo, si trova all'interno della Fm Buccheri, della Fm Modica, della Fm Streppenosa e nei depositi più vecchi. Verso NE, sui profili sismici perpendicolari alla linea di costa, si riconoscono cunei convergenti il cui spessore diminuisce avvicinandosi al top di questo edificio vulcanico. Sulla base di questa informazione è possibile affermare che la messa in posto di questo corpo vulcanico è contemporanea la deposizione delle Fm Modica e della soprastante Fm Buccheri. Nel medesimo settore si trova un altro edificio vulcanico esteso dalla linea sismica C – 572 (esclusa) fino alla sezione sismica C – 576 (inclusa), perpendicolarmente alla linea di costa, e sulle sezioni C – 525, C – 529 e C – 531, parallele. Esso interessa i depositi delle Formazioni Chiaramonte e Hybla; rispetto alla prima formazione si osservano riflettori con terminazioni onlap (verso NE) mentre rispetto i sedimenti della seconda formazione si ha la condensazione della successione sedimentaria sul top dell'edificio vulcanico, il quale raggiunge il limite superiore della Fm Hybla senza attraversarlo.

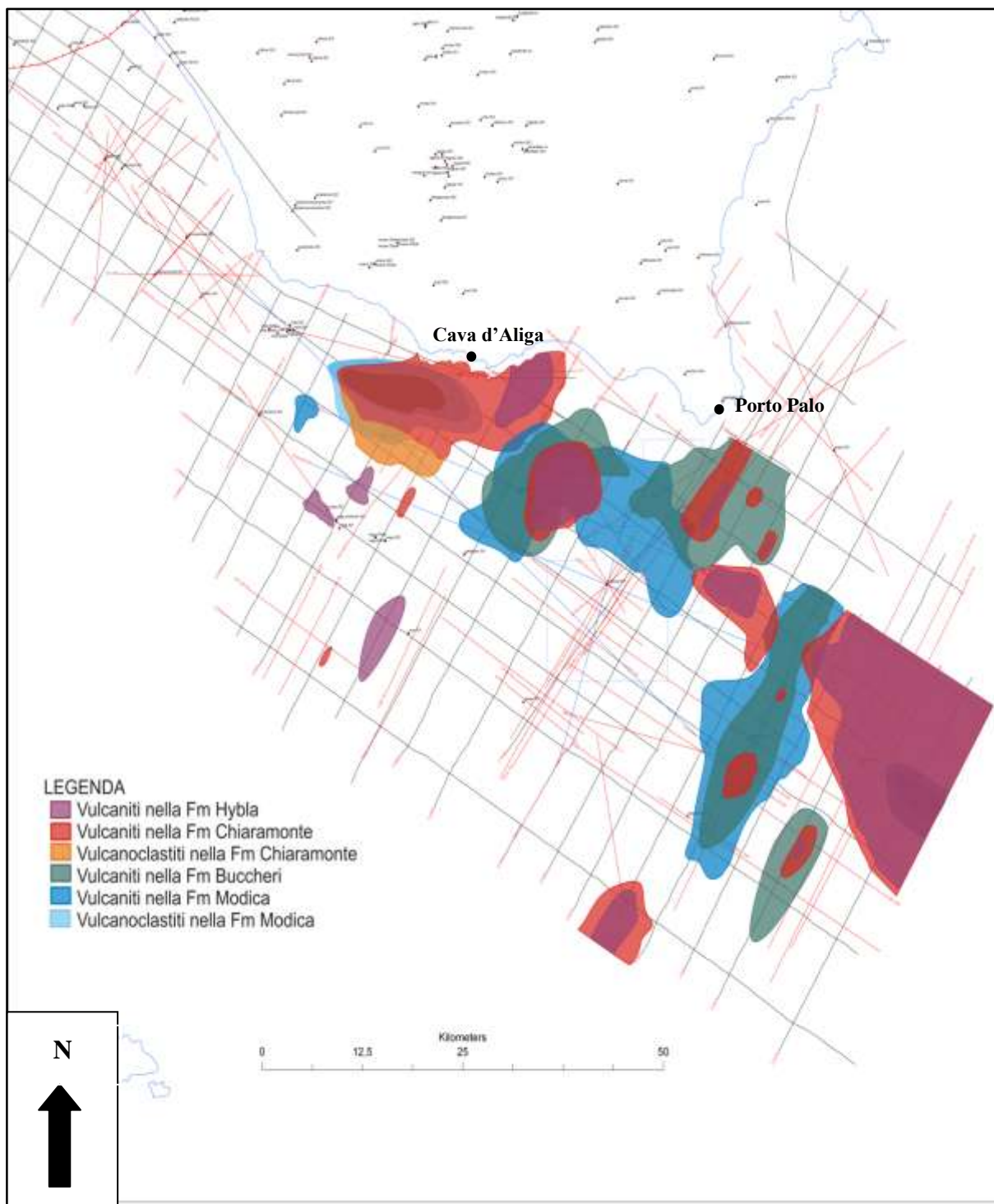


Figura 4.20: Corpi vulcanici compresi tra il limite superiore della Fm Streppenosa (Sinemuriano s. str.) e quello della Fm Hybla (Albiano p.p.).

Il terzo elaborato (Figura 4.25) riguarda i corpi vulcanici posti al di sotto del limite superiore della Fm Streppenosa (Sinemuriano s. str.). Queste rocce vulcaniche si trovano sia in quest'ultima formazione sia, probabilmente, nei sottostanti depositi. I dati stratigrafici contenuti nei pozzi di tutta l'area raggiungono solo la porzione superiore e quella intermedia della Fm Streppenosa senza mai raggiungere la sua base; in questo modo non è possibile avere informazioni sui depositi più vecchi (nome, età, contenuto fossilifero, spessore, ecc.)

presenti nell'area e interessati dall'attività vulcanica. Data l'assenza di informazioni stratigrafiche provenienti dai pozzi presenti nell'area, per realizzare la carta di base, ci si affida alle sismofacies visibili al di sotto del riflettore di colore viola scuro (limite superiore della Fm Streppenosa). Come già accennato in precedenza si ha una migliore risoluzione sismica nella porzione superiore di tutte le linee, essa diminuisce con l'aumentare della profondità; per questo motivo non è possibile distinguere le facies caotiche (vulcanoclastiti) da quelle sorde (vulcaniti).

Osservando l'elaborato di Figura 4.25, relativo ai corpi vulcanici più profondi, si vede che il colore utilizzato è uno solo: viola. Data l'elevata profondità a cui si trovano questi corpi vulcanici e la scarsa risoluzione sismica dei profili sismici non è possibile distinguere le vulcaniti dalle vulcanoclastiti. Gli edifici riportati in questo elaborato sono tre: il primo all'intersezione tra le linee sismiche C – 539 e C – 594, il secondo si trova sulle sezioni sismiche C – 539 e C – 590 e l'ultimo, quello di più grosse dimensioni, è esteso dalla linea sismica C – 588 fino alla C – 576, perpendicolari alla linea di costa, e dalla C – 523 fino alla C – 529, sulle linee parallele.

Il primo corpo vulcanico intersecato dalle linee sismiche C – 590 (shot 97 – 55) e dalla C – 539 (shot 151 – 199), si trova al di sotto del tetto della Fm Streppenosa. Esso consiste in una facies sismica sorda distinguibile da una più riflettiva. In quest'ultima la successione sedimentaria è in condensazione sui fianchi dell'edificio vulcanico con riflettori in convergenza sul top dell'edificio vulcanico (Figura 4.21).

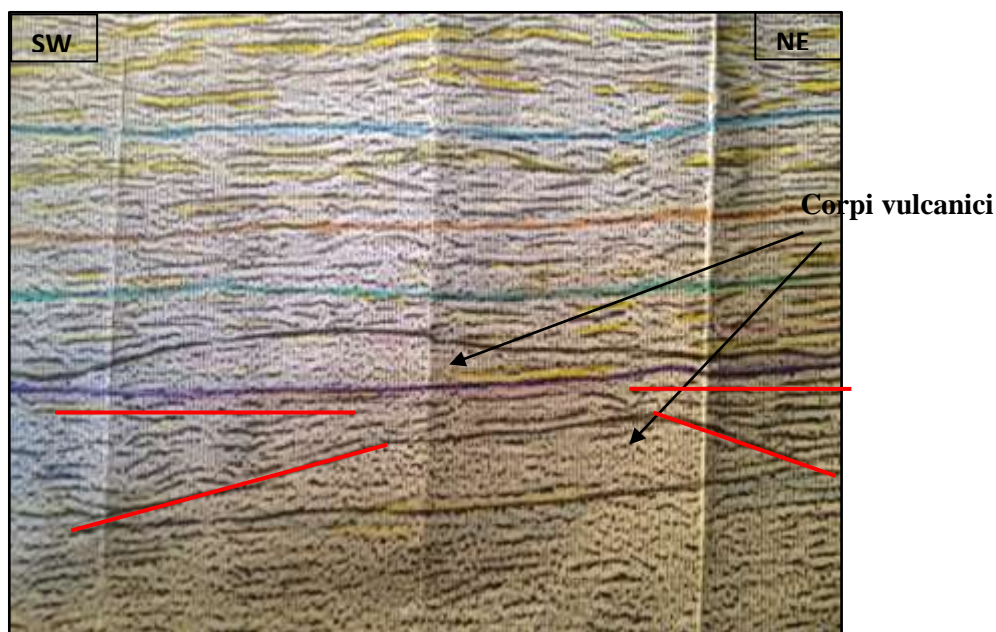


Figura 4.21: Profilo sismico C – 590 (shot 97 – 55) in cui si riconoscono due corpi vulcanici; il primo è al di sotto del riflettore di colore viola scuro (limite superiore della Fm Streppenosa) mentre il secondo è compreso tra quest'ultimo orizzonte e quello soprastante di colore blu cielo (limite superiore Fm Modica). Su entrambi i fianchi del primo edificio vulcanico si riconoscono cunei convergenti i quali sono rappresentati in colore rosso. Gli altri riflettori presenti in questa sezione sismica sono, a partire dall'alto: limite superiore della Fm Hybla (azzurro) e il limite superiore della Fm Buccheri (arancione).

Procedendo dalla base dell'edificio vulcanico verso il tetto si ha la diminuzione dello spessore della successione sedimentaria; questa situazione indica una contemporaneità tra l'attività vulcanica e quella sedimentaria. Il secondo edificio vulcanico è all'intersezione tra le linee sismiche C – 594 e C – 539. Sulla base di quanto interpretato, queste sezioni sismiche intersecano una faglia diretta la quale potrebbe essere il prolungamento meridionale della Scicli Line. Immaginando di sovrapporre l'elaborato relativo ai corpi vulcanici presenti all'interno della Fm Streppenosa e quello relativa all'andamento della superficie di faglia si vede che il materiale vulcanico posto nei settori occidentali è intersecato dal passaggio della faglia normale a direzione NE – SW. Queste rocce vulcaniche si trovano geometricamente al di sotto del riflettore di colore viola scuro, all'interno della Fm Streppenosa e, diversamente da quanto visibile per i riflettori relativi al limite superiore delle altre formazioni, è interessato da dislocazione; di conseguenza, si può affermare che la messa in posto di questo corpo vulcanico è successiva la deposizione della successione sedimentaria e la propagazione della faglia normale. Per questo motivo è possibile affermare che si tratti di un corpo intrusivo la cui messa in posto è di età post-Messiniano. In corrispondenza dei fianchi dell'edificio vulcanico i riflettori sono deformati dalla messa in posto del corpo vulcanico; lo spessore di questa successione è costante sia sui fianchi sia sul top dell'edificio vulcanico (Figura 4.22).

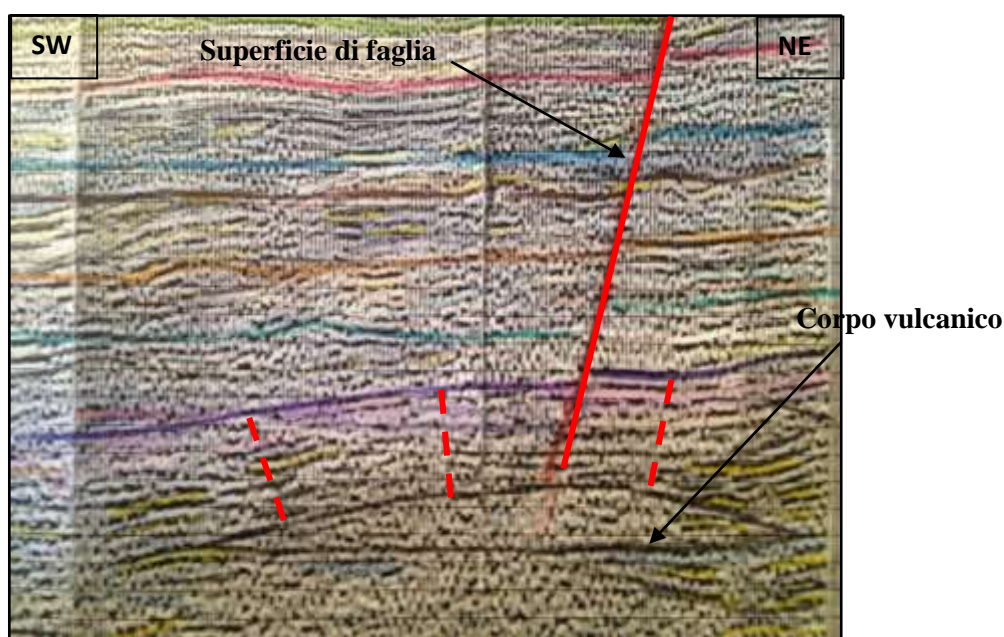


Figura 4.22: Profilo sismico C – 594 (shot 37 - 6). Al di sotto del riflettore di colore viola scuro, coincidente con il limite superiore della Fm Streppenosa, si trova una facies sorda (colore nero) interpretabile come rocce vulcaniche. Si noti come questo corpo non sia interessato da alcun tipo di dislocazione e che lo spessore misurato tra l'orizzonte di colore viola scuro e il top del corpo vulcanico rimane costante. Gli altri riflettori presenti in questa sezione sismica sono (a partire dall'alto): limite superiore Fm Ragusa (verde chiaro), limite superiore Fm Amerillo (fucsia), limite superiore Fm Hybla (azzurro), limite superiore Fm Chiaramonte (marrone), limite superiore Fm Buccheri (arancione) e limite superiore Fm Modica (blu cielo).

In prossimità di questi primi due corpi vulcanici non ci sono pozzi, per cui non si hanno dati stratigrafici certi riguardo le litologie di cui sono costituiti questi edifici vulcanici. Le uniche

informazioni provengono dall'interpretazione delle linee sismiche e dal riconoscimento delle facies sismiche.

L'ultimo edificio vulcanico è quello localizzato nei settori orientali ed è il più grosso sia come spessore (in tempi) sia come distribuzione areale. Esso è localizzato al bordo dell'area di studio e date le caratteristiche visibili sulle linee sismiche sembra proseguire sia verso Est che Nord Est dato che procedendo da SW verso NE si ha l'aumento di spessore. Per poter definire ognuno di questi corpi vulcanici, data la carenza di informazioni stratigrafiche, è necessario distinguere ed interpretare le diverse facies sismiche visibili su ognuno dei profili sismici che sono: una facies riflettiva e una facies sorda. La prima riguarda la sequenza sedimentaria mentre la seconda definisce il passaggio all'edificio vulcanico. Questa distinzione è ben visibile sulle linee perpendicolari alla linea di costa dove, almeno in alcuni casi, si riconosce anche la base dell'edificio vulcanico posta ad una profondità, in tempi, compresa tra 3.0 secondi e 3.2 secondi (TWT). Data la carenza di dati stratigrafici non è possibile affermare all'interno di quale formazione si trovino queste rocce vulcaniche.

L'interpretazione delle linee sismiche ha permesso di riconoscere, lungo i fianchi dell'edificio vulcanico, un andamento differente dei riflettori all'interno della sequenza sedimentaria. Essi, in prossimità dell'edificio vulcanico, mostrano due diversi andamenti: alla base sono presenti riflettori con terminazioni in onlap mentre nella porzione intermedia ed in quella superiore, invece, si ha la condensazione della successione sedimentaria lungo i fianchi del corpo vulcanico (Figura 4.23).

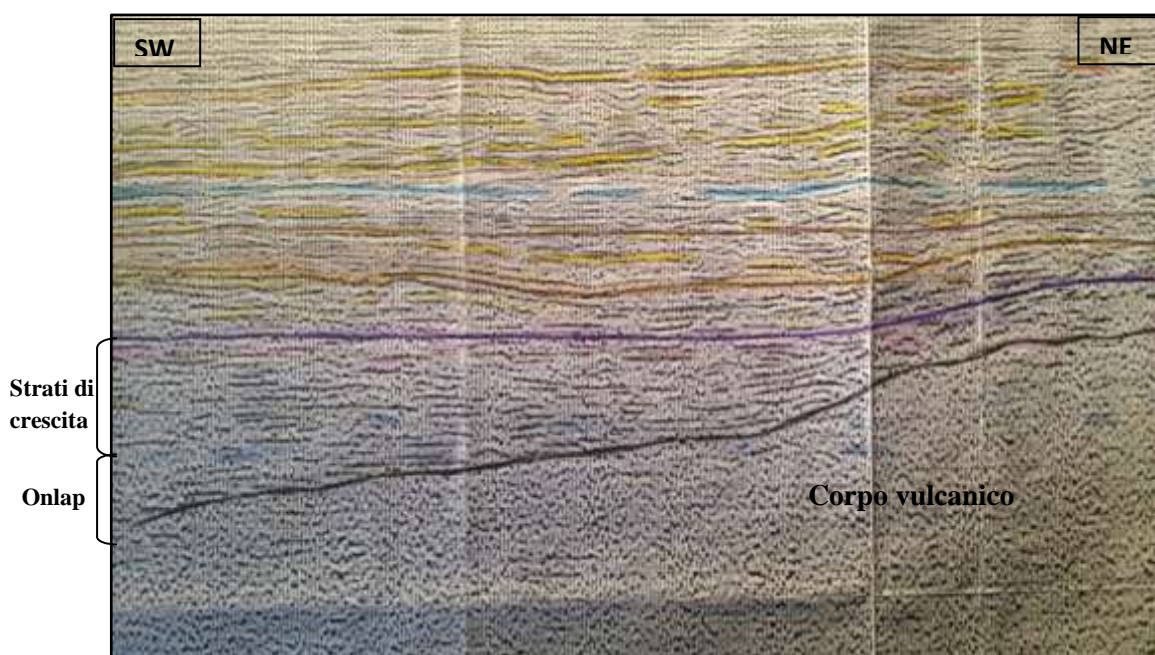


Figura 4.23: Profilo sismico C – 572 (shot 258 - 337). Al di sotto del riflettore di colore viola scuro (limite superiore della Fm Streppenosa) si distinguono due facies: una facies riflettiva e una sorda, interpretata come un enorme corpo vulcanico. Lungo i fianchi di questo edificio vulcanico si riconoscono due diverse situazioni: nella porzione inferiore i riflettori terminano in onlap mentre in quella superiore si riconoscono strati di crescita.

In quest'ultimo caso sono riconoscibili cunei convergenti, il cui spessore diminuisce procedendo verso N e verso NE. Queste due diverse situazioni riconoscibili in ognuno dei profili sismici permette di distinguere due momenti di messa in posto di questo grande corpo vulcanico; il primo è precedente la deposizione della successione sedimentaria (depositi della Fm Streppenosa e quelli più vecchi non perforati da nessuno dei pozzi presenti nell'area di studio) mentre il secondo indica una contemporaneità tra la deposizione della porzione superiore della Fm Streppenosa e l'attività vulcanica. Nella porzione nord-orientale dell'area si può osservare che il top di questo enorme corpo vulcanico si trova all'interno delle soprastanti formazioni geologiche riconosciute, durante la taratura delle linee sismiche (tetto Fm Modica, tetto Fm Buccheri e tetto Fm Chiaramonte). Sulle sezioni sismiche C – 570, C – 574, C – 580 e C – 582, inoltre, si osserva che anche i riflettori posti tra l'orizzonte viola scuro e quello blu cielo e quelli tra quest'ultimo e il soprastante orizzonte arancione formano un cuneo convergente il cui spessore diminuisce procedendo verso NE. Nessuno di questi tre riflettori (quello di colore viola, blu cielo e arancione) sono tracciabili lateralmente verso NE su nessuna linea sismica per la presenza di facies caotiche.

Dalla distribuzione areale dei tre corpi vulcanici si osserva che mentre i primi due sono distanti dai pozzi il terzo, quello più orientale, si trova al di sotto del pozzo Vera 1 e in prossimità dei pozzi Polpo 1 e Oreste 1. Sia quest'ultimo pozzo sia il pozzo Vera 1, profondi rispettivamente 2'744 e 1'911 metri, non sono sufficientemente profondi e non attraversano né il limite superiore della Fm Streppenosa né gli edifici vulcanici. Solo il pozzo Polpo 1 attraversa il tetto della Fm Streppenosa, e l'omonima sequenza per 3'043 metri. Le curve dei logs registrate in questo pozzo sono: il potenziale spontaneo (SP), la resistività e il sonico a cui si uniscono, di fondamentale importanza in questo caso, i cuttings. La curva del SP ha un andamento rettilineo e solo localmente si individuano piccole variazioni verso sinistra; le curve di resistività (sia deep sia shallow) hanno valori fuori scala (Figura 4.24).

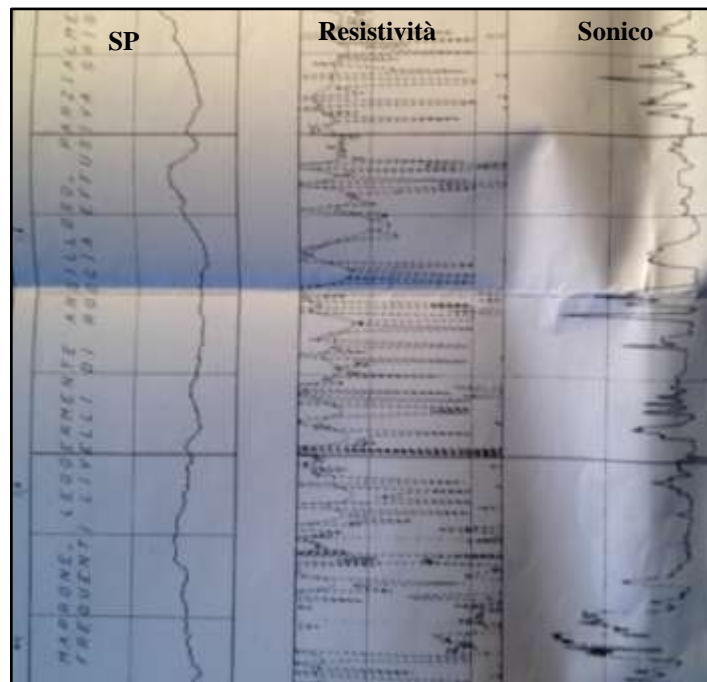


Figura 4.24: Andamento delle curve di logs (SP, resistività e sonico) nel pozzo Polpo 1.

La curva del sonico invece registra fortissimi valori di velocità, superiori rispetto a quelli registrati nei soprastanti depositi. Nella porzione superiore di questa successione si ha un andamento molto variabile e continue deflessioni verso sinistra in relazione a brevi intervalli. Verso la fine del pozzo Polpo 1, si osserva una situazione differente: la curva del sonico diventa rettilinea e diminuiscono le deflessioni. I geologi di pozzo, sulla base delle curve dei logs e dei cuttings, hanno riconosciuto un aumento delle intercalazioni basaltiche verso la fine del pozzo. Quest'interpretazione è supportata da ciò che si vede sulla linea sismica C – 570 (shot 424) a 1.9 s (TWT) di profondità. A questa profondità si trova il limite tra le facies riflettive e le sottostanti sismofacies sorde e prive di riflessioni al loro interno. Nonostante questa sezione sismica si trovi distante dal pozzo permette comunque di trovare una relazione tra le informazioni stratigrafiche contenute nei pozzi e le sismofacies visibili sulle linee sismiche.

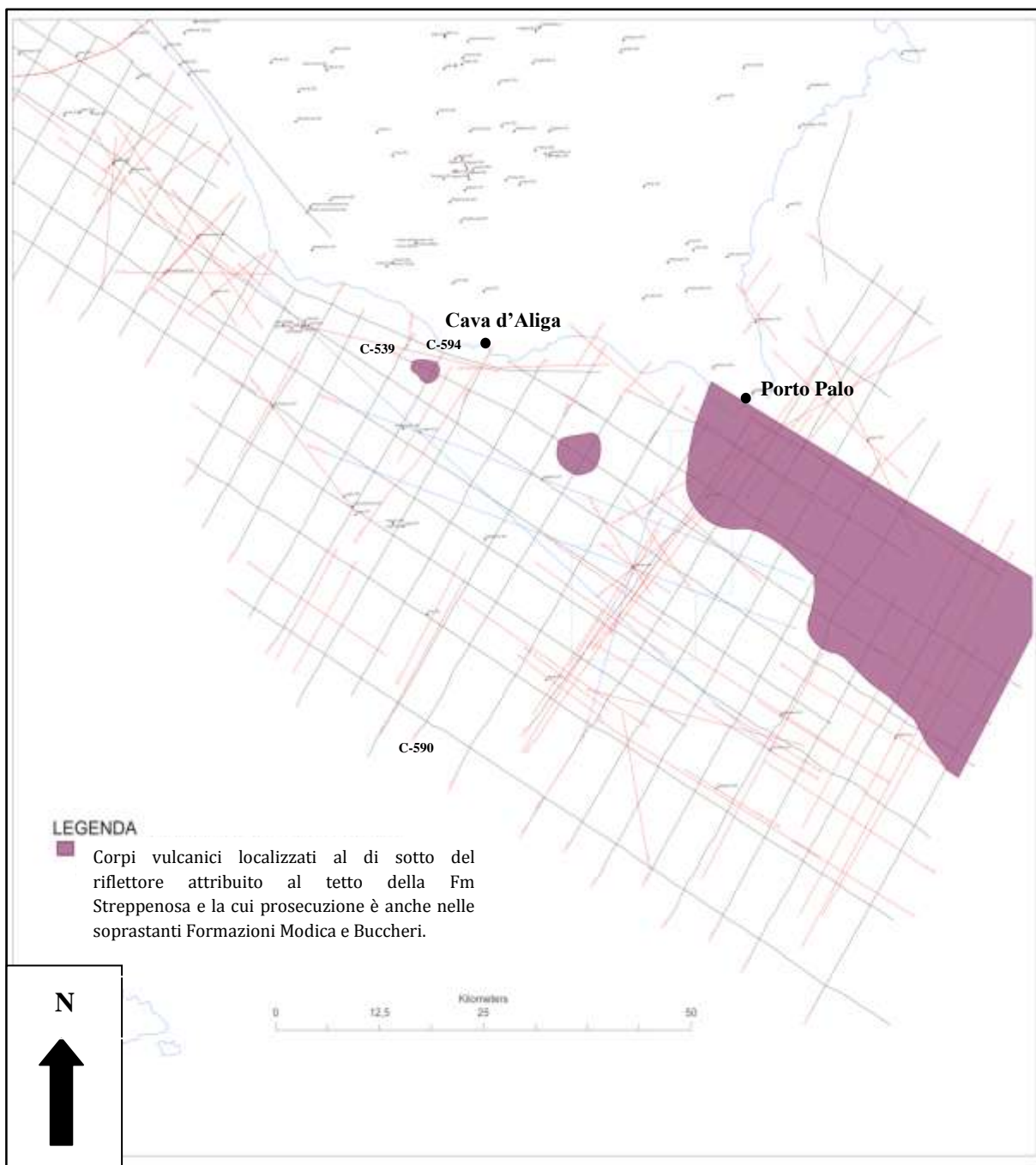


Figura 4.25: Corpi vulcanici deposti al di sotto del limite superiore della Fm Streppenosa (età Sinemuriano s. str.); alcuni di essi proseguono nelle soprastanti Formazioni Modica e Buccheri.

C. Evoluzione stratigrafico e strutturale dell'area

Per poter descrivere l'evoluzione che ha interessato l'area oggetto di studio in questo lavoro di tesi è necessario identificare sulle linee sismiche le sismofacies; esse permettono di comprendere i rapporti tra la deposizione della successione sedimentaria, i corpi vulcanici e l'evoluzione tettonica.

Sulla base delle informazioni disponibili dai dati stratigrafici provenienti dai pozzi, è noto che la formazione geologica più profonda perforata nell'offshore ragusano consiste nella Fm Streppenosa (Hettangiano – Sinemuriano s. str.). Non è possibile definire l'evoluzione in cui sono coinvolti i depositi costituenti la Fm Streppenosa in quanto di tale successione si conosce solo il tetto, ma non la sua base. Il limite superiore di questa successione sedimentaria mette a contatto la Fm Streppenosa con la Fm Siracusa, limitata ai settori sud-occidentali dell'area, e con la Fm Modica, diffusa nel resto dell'area. Le uniche informazioni reperibili dall'interpretazione delle linee sismiche e dai pozzi petroliferi, riguardano la presenza di grossi edifici vulcanici estesi nella porzione superiore della Fm Streppenosa. Durante la fase interpretativa, utilizzando una carta geografica di base, si è scelto di rappresentare in pianta, la distribuzione areale dell'attività vulcanica che ha interessato i depositi appena citati (Figura 4.25). In questo elaborato si riconoscono tre corpi vulcanici, due dei quali sono localizzati nella porzione centro-settentrionale dell'area mentre l'ultimo in quella nord-orientale. Quest'ultimo, come visibile in Figura 4.25, è di grosse dimensioni ed è attraversato da un gran numero di sezioni sismiche sia perpendicolari sia parallele alla linea di costa. Per capire il momento in cui è avvenuta la messa in posto di questo edificio vulcanico è necessario osservare i rapporti tra la sedimentazione e il corpo vulcanico; dall'analisi delle linee sismiche risulta che il tetto dell'edificio vulcanico coevo con la deposizione della Fm Modica e la soprastante Fm Buccheri. La successione sedimentaria di queste ultime due formazioni geologiche e quella della Fm Streppenosa condensano verso NE, al di sopra del top del corpo vulcanico. Tale situazione è riconoscibile per la presenza di cunei convergenti, il cui spessore aumenta procedendo dalla sommità dell'apparato vulcanico verso la base. Data l'abbondanza di facies caotiche, probabilmente vulcanoclastiti, disposte sul top dell'edificio vulcanico non è possibile tracciare verso NE (tramite *loop*) i limiti superiori delle Formazioni Streppenosa, Modica e Buccheri (Figura 4.26).

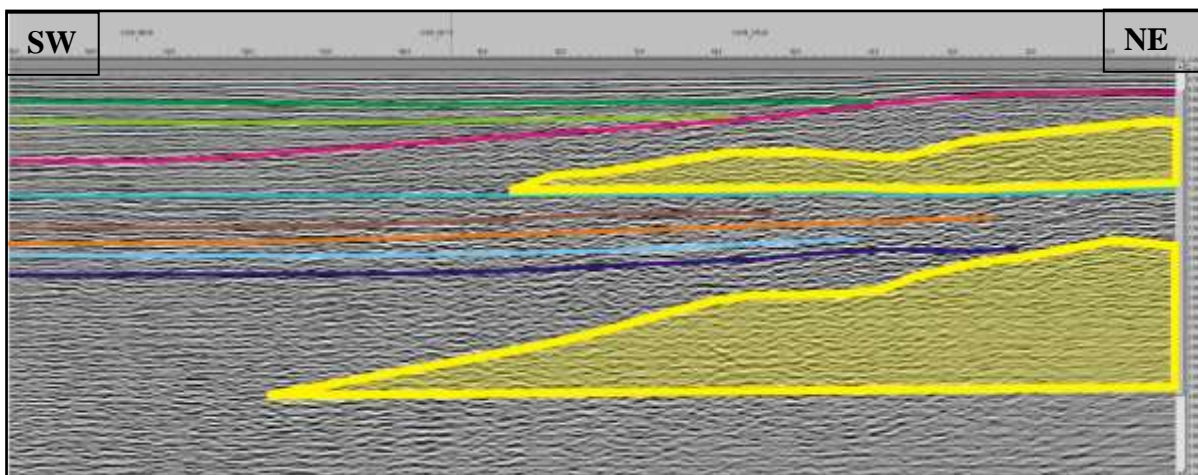


Figura 4.26: Sezione sismica C – 582 (shot 150 – 1). In giallo sono rappresentati due corpi vulcanici: uno più profondo (all'interno della Fm Streppenosa e della Fm Modica) e uno più superficiale (all'interno della Fm Amerillo). I limiti inferiori di entrambi i corpi vulcanici sono stati disegnati manualmente pertanto non sempre è possibile tracciare tali riflettori parallelamente all'andamento degli orizzonti visibili sulle sezioni sismiche.

Gli orizzonti riconoscibili al di sotto del riflettore di colore viola scuro (limite superiore della Fm Streppenosa), lungo i fianchi dell'edificio vulcanico, formano un cuneo convergente.

Su alcuni profili sismici, disposti perpendicolari alla linea di costa, è possibile riconoscere la base dell'edificio vulcanico la quale, molto probabilmente, giace all'interno di depositi più vecchi della Fm Streppenosa. All'interno di quest'ultima sia nei settori meridionali dell'area sia in quelli centrali e occidentali, non si riconoscono segni di un'attività vulcanica.

Tramite il grid relativo al limite superiore della Fm Streppenosa (Figura 4.1) e l'analisi delle linee sismiche si identificano tre strutture compressive orientate NNE – SSW e localizzate nella zona centrale dell'area. La scala di colori adoperata in ognuno dei grid, posizionata in basso a sinistra, si riferisce al range di valori temporali (espressi in tempi doppi - TWT) a cui è posto il riflettore considerato; le tonalità sul rosso indicano le zone più superficiali mentre quelle in blu si riferiscono ai punti in cui la superficie raggiunge la profondità massima. Nel grid relativo al tetto della Fm Streppenosa si osserva inoltre, che nella porzione sud-occidentale dell'area, in colore blu scuro, è rappresentato un settore depresso in cui avviene la messa in posto della Fm Siracusa.

L'interpretazione dei profili sismici a riflessione consente di delimitare un corpo di piccole dimensioni localizzato nella sola porzione sud-occidentale dell'area di studio in corrispondenza dei pozzi Eva 1, Merluzzo mare 1 e Vega 1. Sulla base delle informazioni provenienti dai dati bibliografici, dalle sismofacies visibili sui profili sismici e delle informazioni stratigrafiche contenute in questi tre pozzi, si può interpretare la successione della Fm Siracusa come un corpo costituito da risedimenti la cui deposizione è avvenuta, probabilmente, per mezzo di uno scivolamento. Questi depositi provengono, molto probabilmente, da una zona rilevata posta a SW, al di fuori dell'area di indagine.

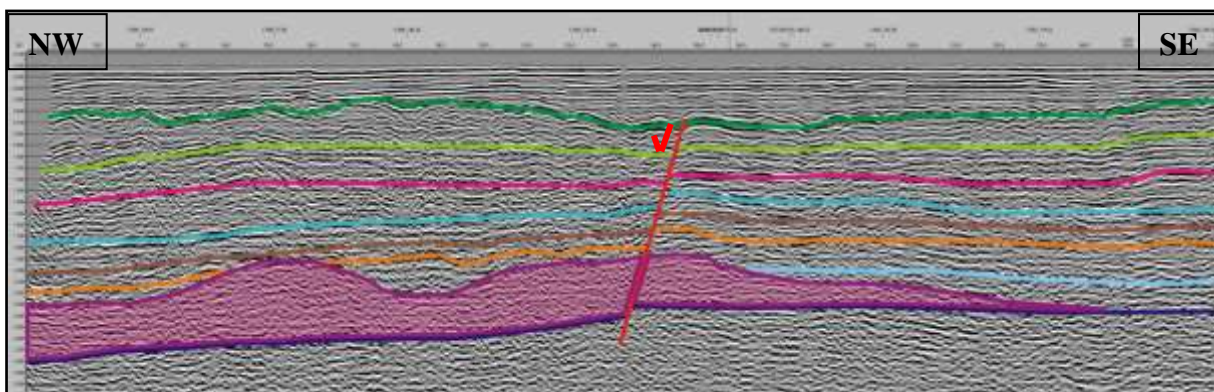


Figura 4.27: Sezione sismica C - 543 (shot 0 - 270). In violetto è rappresentata la morfologia della Fm Siracusa. Contro tale corpo si vedono le terminazioni in onlap del tetto della Fm Modica (blu cielo) e della Fm Buccheri (arancione). I restanti riflettori, elencati a partire dall'alto, corrispondono alle seguenti formazioni geologiche: verde scuro (limite superiore della Fm Gessoso Solfifera), verde chiaro (limite superiore della Fm Ragusa), fucsia (limite superiore della Fm Amerillo), azzurro (limite superiore della Fm Hybla), marrone (limite superiore della Fm Chiaramonte) e viola scuro (limite superiore della Fm Streppenosa). In rosso è segnata la superficie di faglia.

La base della Fm Siracusa si presenta priva di irregolarità mentre il suo top è spesso articolato in alti e bassi morfologici. Entrambi i limiti (superiore e inferiore) separano risedimenti calcarei dalla sequenza bacinale di età mesozoica. In Figura 4.27 la Fm Siracusa è interpretata come un corpo il cui fianco, debolmente inclinato, immerge a SE; su di esso, e sul top di questo corpo, avviene la deposizione della Fm Modica, della Fm Buccheri e della Fm Chiaramonte. Sulle linee sismiche perpendicolari alla linea di costa, verso SW, i riflettori distinti all'interno della Fm Modica, quelli posti tra il tetto della Fm Buccheri e la base della Fm Modica e quelli nella porzione inferiore della Fm Chiaramonte, terminano in onlap sul fianco nord-orientale della Fm Siracusa, come visibile nei profili sismici C - 558, C - 560, C - 562, C - 564, C - 590, C - 592, C - 594, C - 596 e C - 598. Solo la porzione superiore della Fm Chiaramonte ed il suo limite superiore coprono completamente la Fm Siracusa eliminando tutte le differenze morfologiche presenti nell'area. Questa situazione è riconoscibile in tutte le sezioni sismiche in cui è presente la Fm Siracusa, ovvero dalla linea sismica C - 556 (inclusa) fino alla C - 566 (esclusa) per le sezioni perpendicolari alla linea di costa e C - 529 (esclusa) alla C - 535 (inclusa) per quelle parallele. L'età di messa in posto di questi risedimenti è successiva la deposizione del top della Fm Streppenosa e precedente la sedimentazione della Fm Modica e di tutte le altre formazioni geologiche costituenti la successione bacinale, come mostrano le terminazioni ad onlap dei riflettori lungo visibili in Figura 4.27. Per questo motivo, dato che il limite superiore della Fm Streppenosa è datato al Sinemuriano s. str. è possibile affermare che la messa in posto della Fm Siracusa, ha agito in un breve intervallo di tempo dopo il Sinemuriano s. s. Sovrapponendo la carta di base relativa alla distribuzione areale della Fm Siracusa con quelle riguardanti la distribuzione dei corpi vulcanici, l'andamento dei piani assiali e della superficie di faglia, si nota che la porzione sud-occidentale dell'area non è interessata né da attività vulcanica, né da una tettonica

compressiva e nemmeno da quella distensiva. Dato che questo corpo costituito da risedimenti si trova al limite SW della zona di studio non è possibile definirne né la sua forma né la sua distribuzione areale.

Dopo la deposizione della Fm Siracusa, a SW, e durante la messa in posto dei nuovi apparati vulcanici, a N e a NE, avviene la sedimentazione della Fm Modica di età Lotharingiano – Domeriano. All'interno di questa formazione si trovano quattro corpi vulcanici: tre di questi edifici sono all'interno della Fm Modica mentre uno, di dimensioni maggiori, ha la propria base all'interno della successione sedimentaria della Fm Modica e il tetto nella porzione inferiore della Fm Chiaramonte. Solo per il corpo vulcanico disposto nella porzione occidentale dell'area, si distinguono, grazie alle sismofacies, le vulcaniti dalle vulcanoclastiti. Verso NE, come definito in precedenza, esistono corpi vulcanici di grosse dimensioni localizzati sia nella sottostante Fm Streppenosa sia nelle formazioni geologiche più vecchie. Interpretando i profili sismici perpendicolari alla linea di costa, verso NE, si nota che i riflettori della Fm Modica sono in convergenza verso il top dell'edificio vulcanico e si ha la diminuzione dello spessore di tale sequenza. Al bordo nord-orientale delle sezioni sismiche C – 574, C – 576 e C – 580, non è possibile tracciare il limite superiore della Fm Modica per la presenza di facies caotiche sul top del corpo vulcanico.

Al di sopra della Formazione Siracusa, a SW, e sul tetto della Fm Modica, nel resto dell'area, si depone la Fm Buccheri (Toarciano inferiore – Titoniano). Verso SW, sia sulle sezioni sismiche perpendicolari sia su quelle parallele alla linea di costa, i riflettori compresi tra il tetto della Fm Buccheri e quello della sottostante Fm Modica terminano in onlap lungo i fianchi della Fm Siracusa indicando la presenza di uno hiatus deposizionale.

L'elaborato di Figura 4.20 relativo alla distribuzione areale dei corpi vulcanici compresi tra il limite superiore della Fm Streppenosa (Sinemuriano s. str.) e il tetto della Fm Hybla (Albiano p.p.) mostra che all'interno della Fm Buccheri sono presenti numerosi corpi vulcanici; alcuni di questi sono edifici isolati mentre i restanti consistono nella coalescenza di grossi corpi vulcanici allungati in direzione NNE – SSW la cui base coincide con il tetto della Fm Streppenosa. Per i primi, su entrambi i lati del corpo vulcanico, si riconoscono cunei convergenti indicanti un'attività vulcanica contemporanea alla fase sedimentaria, mentre per i secondi l'attività deposizionale è successiva la messa in posto dei corpi vulcanici, come testimoniato dalle terminazioni in onlap dei riflettori sui fianchi degli edifici vulcanici. Sulle base delle informazioni riportate è possibile affermare che durante la deposizione della Fm Buccheri, nell'offshore di Ragusa, si trovavano già la Fm Siracusa (a SW) e i corpi vulcanici di più grosse dimensioni la cui base poggia sul limite superiore della Fm Streppenosa. È da notare infine che, durante la sedimentazione della Fm Buccheri, si riconosce un'altra attività

vulcanica responsabile della formazione di due edifici vulcanici di forma subcircolare posti nei settori settentrionali dell'area, al largo dell'abitato di Porto Palo.

La deposizione della successione sedimentaria prosegue con la sedimentazione della Fm Chiaramonte (Titoniano superiore – Hauteriviano inferiore) la quale si depone in tutta l'area di indagine al di sopra dei risedimenti attribuiti alla Fm Siracusa. All'interno della Fm Chiaramonte sono riconoscibili anche numerosi corpi vulcanici localizzati a N, NE, NW e a S. In aggiunta agli edifici vulcanici già descritti in precedenza, la cui base è posta all'interno delle sottostanti formazioni, si distinguono altri corpi vulcanici, limitati ai settori meridionali. Alcuni di essi, i più piccoli, sono contenuti solo all'interno della Fm Chiaramonte mentre gli altri, di più grosse dimensioni, attraversano anche la porzione inferiore della Fm Hybla. L'interpretazione delle linee sismiche ha permesso di distinguere, all'interno della Formazione Chiaramonte, due momenti di messa in posto degli edifici vulcanici:

1. Il primo è riconoscibile nei settori nord-orientali, nord – occidentali e meridionali dell'area all'interno della Fm Chiaramonte e nella porzione inferiore della Fm Hybla. Lungo i fianchi di questo edificio vulcanico si osservano terminazioni in onlap dei riflettori. In questo primo caso l'attività vulcanica è precedente la sedimentazione sia della Fm Chiaramonte sia della Fm Hybla.
2. Il secondo momento distinto nell'area di indagine è visibile sul profilo sismico C – 562 è successivo la deposizione sia della Fm Chiaramonte sia della Fm Hybla. Lungo questa linea sismica, in due punti (shot 72 – 87 e 198 - 228), si nota come i depositi di cui è costituita la porzione superiore della Fm Chiaramonte e quelli della Fm Hybla sono deformati, ma lo spessore della successione sedimentaria è uguale sia sui fianchi sia sul top dell'edificio vulcanico. Sulla base di queste informazioni si può affermare che la messa in posto di queste rocce vulcaniche è successiva la deposizione della Fm Chiaramonte e della Fm Hybla ed è opera di corpi intrusivi (Figura 4.28).

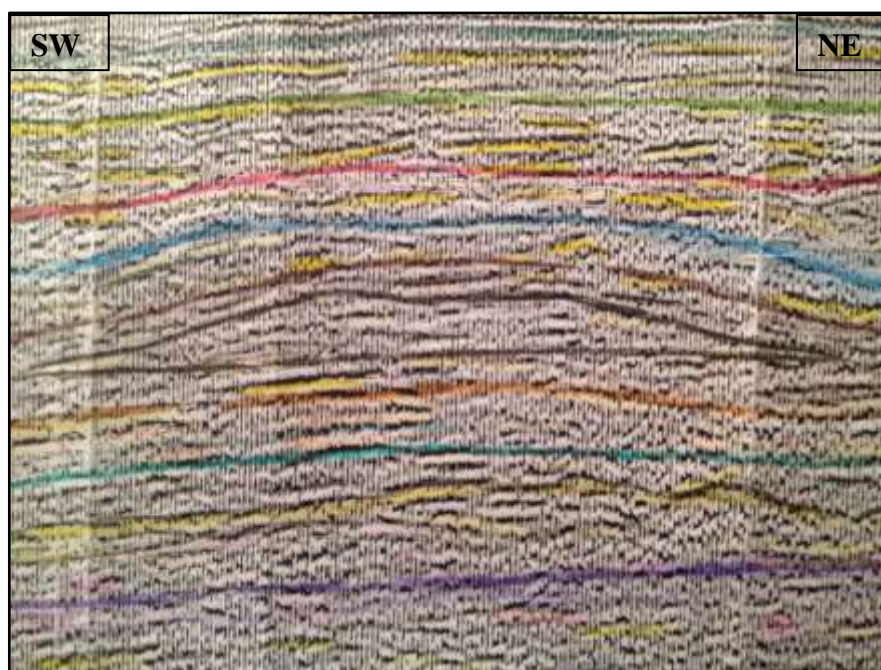


Figura 4.28: Profilo sismico C - 562 (193 - 234). A partire dall'alto si riconoscono i seguenti riflettori: limite superiore della Fm Ragusa (verde chiaro), limite superiore della Fm Amerillo (fucsia), limite superiore della Fm Hybla (azzurro), limite superiore della Fm Chiaramonte (marrone), limite superiore della Fm Buccheri (arancione), limite superiore della Fm Modica (blu cielo) e limite superiore della Fm Streppenosa (viola scuro). Tra l'orizzonte di colore marrone e quello arancione si riconosce una facies parzialmente sorda attribuita a rocce vulcaniche; la messa in posto di queste ultime provoca la deformazione del riflettore di colore marrone e di quello di colore azzurro.

Sul tetto della sottostante Fm Chiaramonte, tra l'Hauteriviano superiore e l'Albiano p.p., avviene la sedimentazione della Fm Hybla. Questa formazione geologica, come anche le altre formazioni più vecchie, sono deformate in una serie di pieghe anticlinali e sinclinali.

All'interno della sequenza sedimentaria si riconoscono tracce di un'attività vulcanica localizzata principalmente nei settori settentrionali e in quelli orientali; essa si manifesta sia con la presenza di piccoli corpi vulcanici isolati (in numero di tre) sia come edifici vulcanici più grandi la cui base si trova o nella Fm Chiaramonte o nella sottostante Fm Buccheri. Sui fianchi di questi corpi vulcanici, verso NE, si riconoscono due cunei convergenti il cui spessore diminuisce avvicinandosi al top dell'edificio.

Al di sopra della Fm Hybla si depone la Fm Amerillo di età Albiano - Maastrichtiano; essa è l'ultima formazione della successione bacinale di età mesozoica e al suo interno si trovano due grossi apparati vulcanici. Data la buona risoluzione sismica della porzione superiore dei profili, è possibile distinguere, per mezzo delle sismofacies, i corpi vulcanici veri e propri (vulcaniti) dalle intercalazioni basaltiche all'interno della sequenza sedimentaria (vulcanoclastiti). L'attività vulcanica riconosciuta all'interno della Fm Hybla è limitata al bordo settentrionale, nord-orientale, orientale ed a quello sud-orientale dell'area di indagine. Sulla base delle informazioni provenienti dall'analisi delle linee sismiche, è possibile affermare che la messa in posto di questi edifici vulcanici è sia contemporanea che precedente la deposizione della Fm Amerillo. Nella porzione inferiore di quest'ultima formazione, verso

Nord e verso Nord-Est, si distinguono cunei convergenti; in quella intermedia e superiore i riflettori della Fm Amerillo terminano in onlap lungo i fianchi degli edifici vulcanici. Nella porzione centrale, occidentale e in quella orientale, la sequenza sedimentaria della Fm Amerillo non è interessata da alcun tipo di attività vulcanica.

Il grid realizzato per mezzo del software Kingdom 8.2 permette di riconoscere, anche per questo limite superiore, tre pieghe tra loro parallele tutte localizzate al centro dell'area di studio.

Osservando i grid ottenuti per mezzo del programma Kingdom 8.2 si nota che le superfici create tramite gridding, e relative al limite superiore di ognuna delle formazioni geologiche sono distinguibili in due gruppi:

- il primo, relativo al tetto della Fm Gessoso Solfifera e a quello della Fm Ragusa, contiene al suo interno due superfici il cui andamento è da suborizzontale a debolmente inclinato verso SW. Solo nella porzione sud-occidentale come visibile nei grids di Figura 4.10 e 4.13, si ha un aumento improvviso dell'inclinazione (tonalità di blu) di queste due superfici.
- il secondo comprende i grid relativi alle superfici comprese tra il tetto della Fm Amerillo e il tetto della Fm Streppenosa. In tutte e sei le immagini ottenute (Figure 4.1, 4.4, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9), per mezzo del gridding, si riconoscono tre alti morfologici separati da altrettante zone di basso morfologico. I primi consistono in pieghe anticlinali mentre le seconde in pieghe sinclinali; i piani assiali di tutte e tre le strutture compressive hanno direzione N 40 – N 50 come visibile nell'elaborato di Figura 4.29.

Durante l'interpretazione delle linee sismiche e dei grid si è deciso di realizzare, sia una carta geografica, l'andamento in pianta dei piani assiali delle strutture compressive, visibili in Figura 4.1, 4.4, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9. Per la realizzazione di questo elaborato si è agito sia utilizzando le sezioni sismiche in formato cartaceo sia il programma Kingdom 8.2 contenente le medesime linee sismiche in formato digitale. Grazie al materiale cartaceo è possibile tracciare i piani assiali delle strutture compressive più grandi (numero 1, 2 e 3 in Figura 4.29), mentre con l'ausilio di quello digitale si può riconoscere, e tracciare in pianta, una quarta struttura compressiva parallela alle altre, localizzata a SE dei pozzi Vera 1 e Aretusa 1. Quest'ultimo sistema di pieghe (costituito, procedendo da NW verso SE, da una sinclinale e poi da un'anticlinale) è riconoscibile solo tramite l'utilizzo del software Kingdom il quale permette di modificare sia la scala orizzontale (in metri) sia quella verticale (in tempi doppi) di ognuna delle sezioni sismiche. Se si desidera aumentare il valore della scala orizzontale, si

riduce la lunghezza della linea sismica e tutte le strutture di sottosuolo vengono accentuate. Questi sono gli steps che si è deciso di seguire per le linee sismiche parallele alla linea di costa della Sicilia nelle quali sono state riconosciute quattro strutture compressive: tre più grandi (facilmente riconoscibili dall'analisi delle sezioni sismiche) ed una più piccola (distinguibile solo con l'utilizzo di Kingdom). Realizzata la carta di base relativa ai piani assiali, è possibile notare che tutte e quattro le strutture compressive, sono tra loro parallele e i loro piani assiali hanno una direzione compresa tra N 40 e N 50.

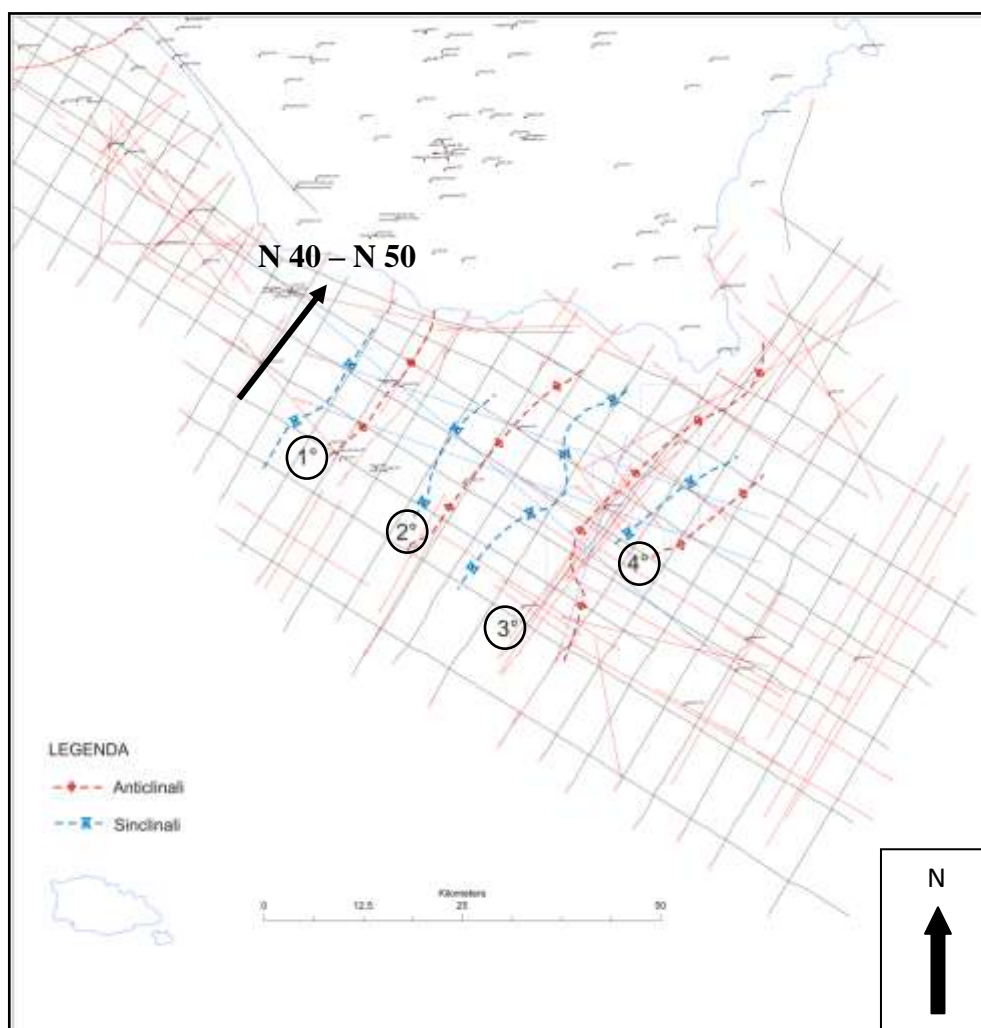


Figura 4.29: Distribuzione areale dei piani assiali delle quattro strutture compressive. La freccia di colore nero indica la direzione media delle quattro strutture riconosciute tramite l'analisi delle sezioni sismiche.

L'interpretazione delle linee sismiche disponibili in questo lavoro ha permesso di individuare due momenti deformativi:

- il primo è quello che interessa la struttura compressiva posta a NW (numero 1 in Figura 4.29). La deformazione riconosciuta in quest'area può essere suddivisa in due fasi. La prima è successiva la deposizione del limite superiore della Fm Streppenosa e contemporanea la sedimentazione della Fm Modica; questa situazione, visibile ad

esempio sul profilo sismico C - 541, può essere riconosciuta per la riduzione di spessore tra la Fm Modica e il limite superiore della Fm Streppenosa man mano che ci si avvicina al top dell'anticlinale. Terminata la prima fase deformativa ha inizio un momento di quiescenza tettonica accompagnato dalla deposizione delle Formazioni Buccheri e Chiaramonte. Contemporaneamente alla deposizione della Fm Hybla rinizia l'attività deformativa la quale prosegue durante la sedimentazione delle Formazioni Amerillo, Ragusa e Tellaro; queste successioni sedimentarie sono tutte in condensazione sul top dell'anticlinale. Dalle informazioni provenienti dall'interpretazione della linea sismica C-541 non è possibile definire il momento in cui termina la fase deformativa in quanto su questa linea sismica, come anche su quelle parallele, non è visibile né la doppietta di riflettori appartenente alla Fm Gessoso Solfifera e nemmeno i depositi plio-pleistocenici (Figura 4.30).

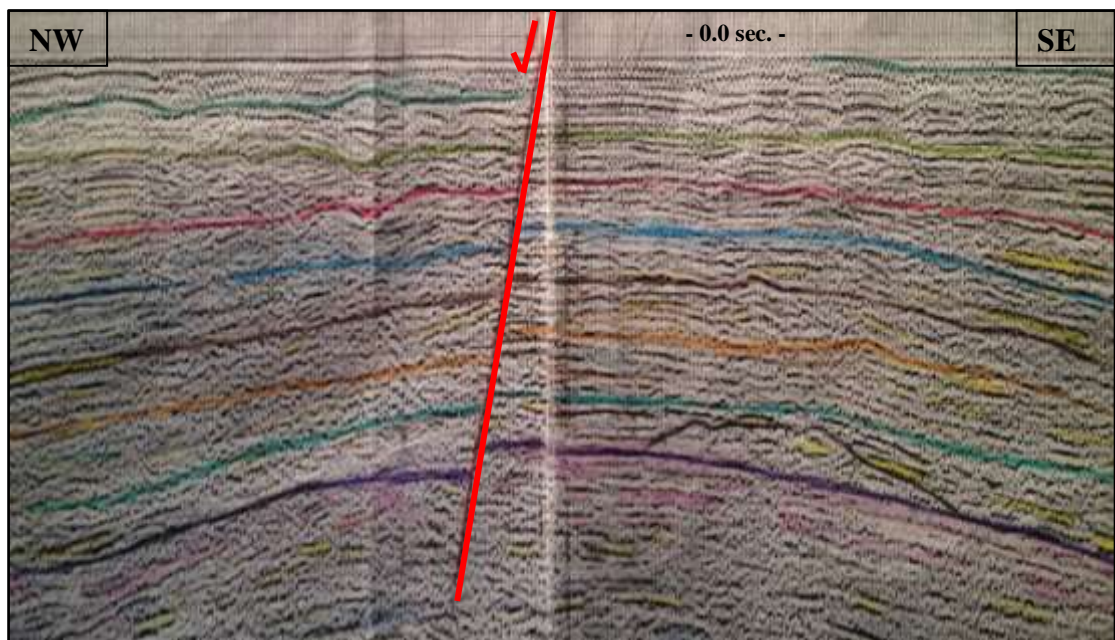


Figura 4.30: Profilo sismico C - 541 (shot 510 – 600). In questa sezione sismica è presente l'anticlinale generata dal primo evento deformativo. Essa è interessata da una superficie di faglia (colore rosso) la quale ribassa la porzione nord-occidentale della linea sismica rispetto a quella sud-orientale.

- il secondo riguarda le restanti strutture compressive localizzate nella porzione centrale e orientale dell'area (numero 2, 3 e 4 di Figura 4.29); in Figura 4.29 sono riportati i piani assiali di tre pieghe anticlinali e di altrettante pieghe sinclinali interessate da un secondo evento deformativo. L'evoluzione compressiva che ha interessato queste zone è avvenuta in un unico momento. Per descrivere quando ha avuto inizio questa fase deformativa è necessario osservare il grid relativo al tetto della Fm Amerillo e quello relativo al limite superiore della Fm Ragusa. In essi si notano due superfici con andamento spaziale differente: la prima, completamente piegata, è coinvolta nella fase compressiva mentre la seconda ha un andamento da sub-orizzontale a debolmente

inclinato verso SW. Solo nella porzione sud-occidentale dell'area il tetto della Fm Ragusa aumenta la propria inclinazione creando, in questo settore, una depressione colmata dai depositi plio-pleistocenici. Dopo aver analizzato i grids relativi ad ognuna superficie, sulle linee sismiche parallele alla linea di costa è possibile notare come la porzione inferiore della Fm Ragusa, in prossimità del top di tutte e tre le anticlinali, sia in condensazione. Questa situazione non è riconoscibile nella porzione intermedia e in quella superiore della sequenza dove i riflettori sono piano paralleli e coprono tutte e tre le strutture compressive (Figura 4.31).

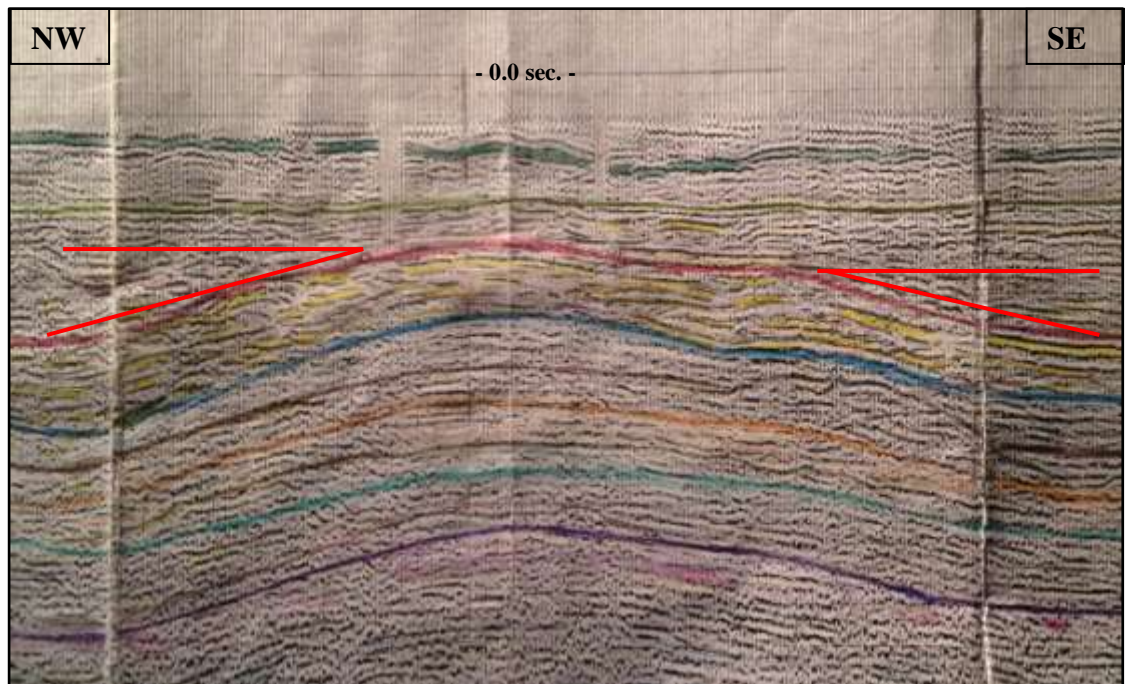


Figura 4.31: Profilo sismico C - 529 (shot 1448 – 1530). In questa sezione sismica si riconosce una delle tre anticlinali generata dal secondo evento deformativo. I riflettori coinvolti nella fase compressiva sono sei (fucsia, azzurro, marrone, arancione, blu cielo e viola scuro); al di sopra di questi orizzonti si hanno il limite superiore della Fm Ragusa (verde chiaro) e quello della Fm Gessoso Solfifera (verde scuro). Al di sopra del riflettore di colore fucsia, in colore rosso, sono segnati i cunei convergenti riconoscibili nella porzione inferiore della Fm Ragusa.

Per definire la durata della fase compressiva è necessario individuare il momento in cui essa ha avuto inizio e quello in cui è terminata. Dall'interpretazione delle sezioni sismiche e delle sequenze sedimentarie in esse individuate si può affermare che la fase compressiva ha agito dopo la deposizione del limite superiore della Fm Amerillo e durante la deposizione della porzione inferiore della Fm Ragusa. Utilizzando le informazioni stratigrafiche contenute nei pozzi Gabbiano 1 e Spada mare 1, rispettivamente sulle linee C – 531 (shot 1393) e C – 529 (shot 1479), è possibile datare l'età di questa deformazione. Il top dell'anticlinale, sulla prima linea, si trova alla profondità di 1.0 s (TWT) mentre il primo riflettore orizzontale all'interno della Fm Ragusa è a 0.92 s (TWT). Nella seconda sezione, i valori ottenuti sono: 0.82 s (TWT) per il top dell'anticlinale e 0.76 s (TWT) per l'orizzonte che segna la fine

dell'evento deformativo. Misurati i valori temporali a cui si trova ognuno dei riflettori, in ognuna delle linee sismiche su cui cade il pozzo, si procede con la taratura degli stessi per mezzo dei dati stratigrafici contenuti nei pozzi Gabbiano 1 e Spada mare 1. L'intervallo temporale ottenuto tarando il top dell'anticlinale e i primi riflettori orizzontali permette di affermare che la fase deformativa ha agito dal Maastrichtiano al Paleocene – Eocene (Figura 4.32).

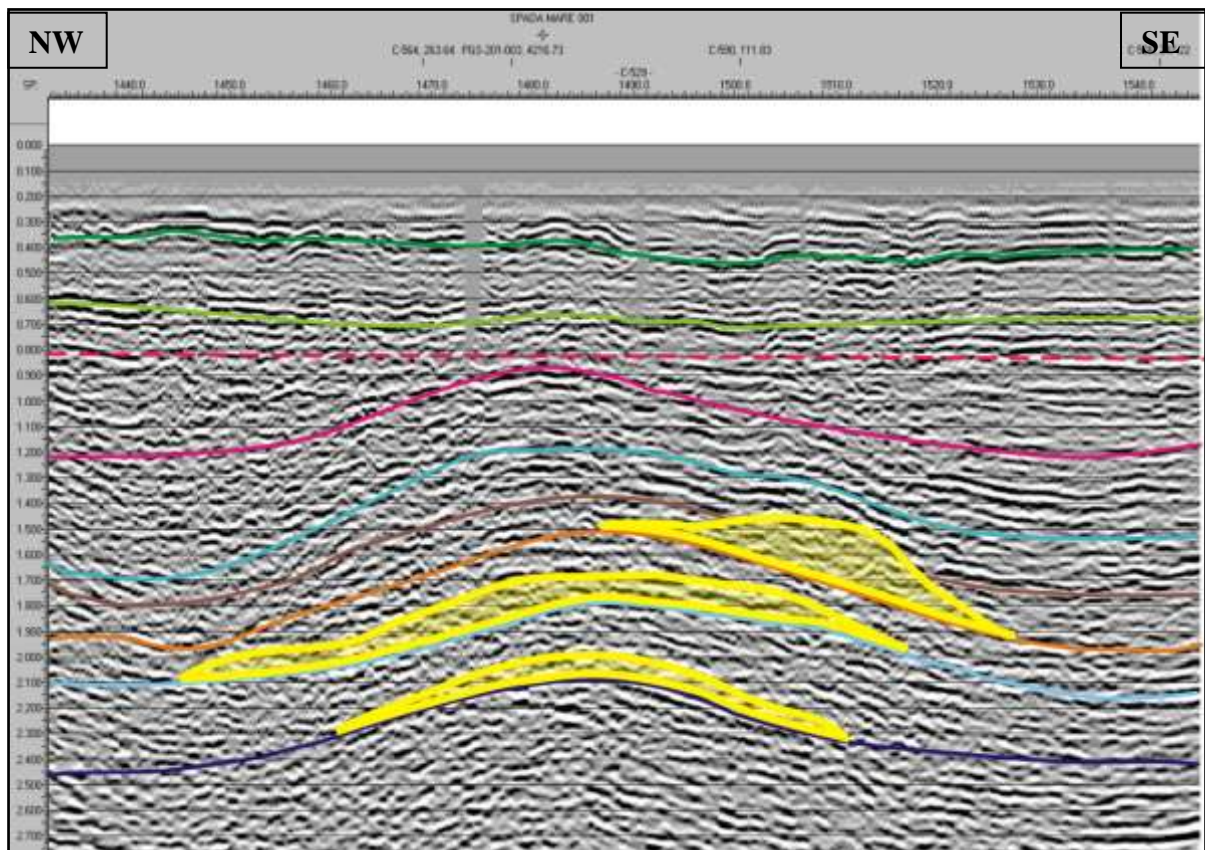


Figura 4.32: Sezione sismica C – 529 (shot 1430 - 1550). In colore giallo sono rappresentati tre corpi vulcanici sovrapposti: il più profondo si trova nella porzione inferiore della Fm Modica, il secondo nella Fm Buccheri e l'ultimo attraversa sia la Fm Chiaramonte sia la base della Fm Hybla. La linea rossa tratteggiata separa i riflettori orizzontali soprastanti, privi di deformazione, da quelli sottostanti coinvolti nella deformazione.

Per comprendere le relazioni esistenti tra gli eventi deformativi e i corpi vulcanici è necessario osservare se esiste un legame tra questi ultimi e le strutture compressive identificate nell'area. Come affermato in precedenza, la maggior parte dell'attività vulcanica è localizzata nelle porzioni settentrionali, nord-orientali, orientali e sud-orientali dell'area di studio. Se si comincia analizzando l'elaborato relativo agli edifici vulcanici depositi nell'intervallo di tempo compreso tra l'Albiano p.p. e l'Eocene (Figura 4.16), si nota che i colori utilizzati sono due con i quali si desidera distinguere le vulcaniti dalle vulcanoclastiti. Le prime localizzate a Nord, Nord Est e a Est dell'area di studio non sono influenzate da nessuna delle due fasi deformative pertanto non è possibile riconoscere nessuna correlazione

tra l'attività compressiva e quella vulcanica. Le seconde, estese verso NW e verso Sud e Sud-Est, sono interessate dalla seconda fase deformativa. Sulle sezioni sismiche C – 529 e C – 539 si osserva che le vulcanoclastiti giacciono sulle anticlinali indicate con il numero 2 e 3 in Figura 4.29. Queste ultime, coinvolte nel secondo evento deformativo, sono deformate allo stesso modo dei riflettori sopra e sottostanti. Analizzando la seconda carta di base, quella relativa ai corpi vulcanici la cui messa in posto è avvenuta tra il Sinemuriano s. str. e l'Hauteriviano, si nota che in questo intervallo di tempo l'attività vulcanica è molto più intensa ed è responsabile della messa in posto di numerosi corpi vulcanici localizzati all'interno di tutte le formazioni geologiche. Sulle linee sismiche C – 525, C – 529, C – 531, C – 535, C – 537 W, C – 539 e C – 541, parallele alla linea di costa, si contano numerosi corpi vulcanici sia di piccole sia di grandi dimensioni. Alcuni di essi sono localizzati sulle anticlinali e risultano essere deformati allo stesso modo delle formazioni geologiche che li contengono, mentre altri si trovano nei settori orientali e nord-orientali e non sono coinvolti nella fase compressiva.

L'ultimo elaborato, quello relativo ai corpi vulcanici contenuti all'interno della Fm Streppenosa e nelle formazioni geologiche più vecchie, non permette di trovare alcuna relazione tra la fase compressiva e l'attività vulcanica. Immaginando di sovrapporre questo elaborato con quello contenente i piani assiali, è possibile notare che non esiste alcuna relazione tra le fasi compressive (localizzate nella porzione centrale dell'area) e la messa in posto di questi edifici vulcanici (localizzati principalmente nei settori nord-orientali ed orientali) data la diversa distribuzione delle pieghe e dei corpi vulcanici.

Terminata la deposizione della Fm Amerillo, durante il secondo evento deformativo, ha inizio la sedimentazione della Fm Ragusa. Dall'interpretazione delle linee sismiche perpendicolari alla linea di costa e di quelle parallele, in questa successione sedimentaria, si possono distinguere due evoluzioni differenti; tale situazione è legata alla presenza nell'area di due fasi deformative diverse. Come affermato in precedenza si è distinta una prima fase compressiva responsabile della formazione della prima struttura (numero 1 in Figura 4.29) originatasi dall'alternanza di momenti di attività tettonica e fasi di quiescenza. La fase interpretativa dei profili sismici ha permesso di definire la ripresa dell'attività compressiva in un intervallo di tempo compreso tra l'Oligocene e il Miocene, dopo la deposizione della Fm Amerillo e prima della sedimentazione della Fm Ragusa. In quest'ultima, come nella soprastante Fm Tellaro, si riconosce un cuneo convergente sul top dell'anticlinale, come visibile sulle linee C – 529 e C – 541 (Figura 4.33).

Il secondo è quello che interessa le strutture 2, 3 e 4 visibili in Figura 4.29. In questo secondo caso è necessario differenziare l'evoluzione della porzione inferiore della sequenza della Fm

Ragusa da quella intermedia e superiore; queste ultime sono prive di alcun tipo di deformazione e i riflettori sono orizzontali o debolmente inclinati. La parte inferiore della sequenza, invece, si depone contemporaneamente alla fase compressiva come visibile dagli strati di crescita su entrambi i lati dell'anticlinale.

Lo spessore della Fm Ragusa, verso Nord Est è soggetto ad una forte riduzione di spessore dovuta alla messa in posto di un grosso corpo vulcanico all'interno della Fm Amerillo. L'interpretazione sismica ha permesso di riconoscere, solo nei settori settentrionali, tracce di attività vulcanica sia come vulcaniti (C – 560 tra gli shot 207 – 240 e su quella C – 537E tra gli shot 140 – 180) sia come vulcanoclastiti (C – 564 tra gli shot 234 - 276, C – 568 dallo shot 319 fino a fine sezione, C – 537 E tra gli shot 122 – 145 e 175 - 200, C – 537 W dallo shot 577 a 643 e C – 539 tra gli shot 145 – 211).

La riduzione dello spessore della Fm Ragusa, verso NE, è testimoniata dall'andamento della successione la quale, al di sopra del tetto della Fm Amerillo, condensa (Figura 4.33).

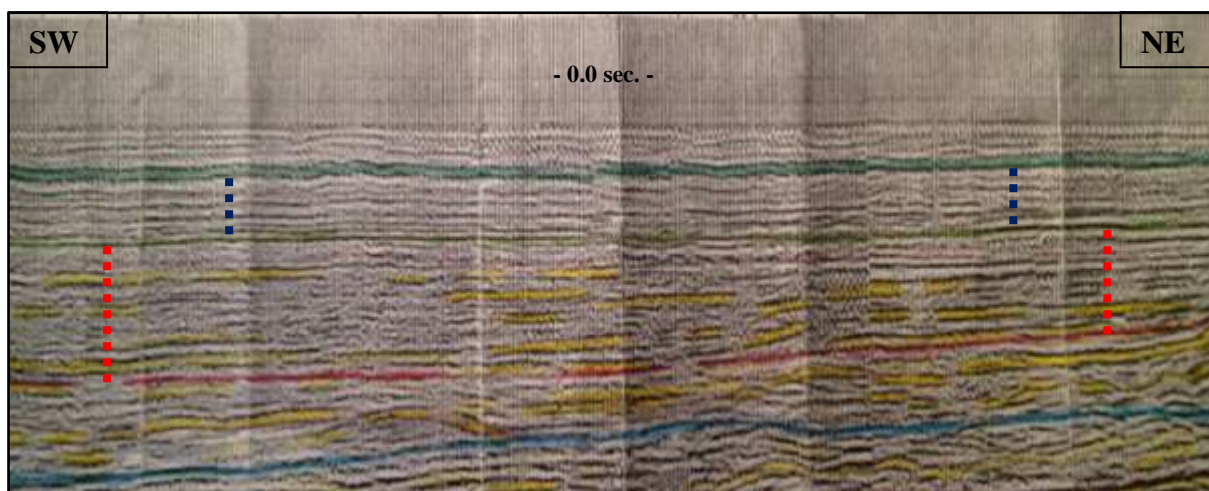


Figura 4.33: Profilo sismico C - 566 (shot 229 – 333). A partire dall'alto si riconoscono quattro riflettori: limite superiore della Fm Gessoso Solfifera (verde scuro), limite superiore della Fm Ragusa (verde chiaro), limite superiore della Fm Amerillo (fucsia) e limite superiore della Fm Hybla (azzurro). Procedendo da SW verso NE si riconosce la diminuzione dello spessore della Fm Ragusa (linee rosse verticali tratteggiate) e dei soprastanti depositi della Fm Tellaro (linee blu verticali tratteggiate) compresi tra il riflettore di colore verde chiaro e la base di quello verde scuro.

Sulla base delle informazioni ricavate dalla fase interpretativa si può ipotizzare la contemporaneità tra l'attività vulcanica documentata nei settori settentrionale e nord-orientale e l'attività compressiva riconosciuta al centro dell'area. Non avendo ulteriori dati a disposizione non è possibile affermare l'ordine temporale di messa in posto di ognuno degli eventi riconosciuti in questi settori.

Nelle linee sismiche C – 580, C – 574 e C – 576 è possibile distinguere un grosso canale di erosione la cui ampiezza e la cui profondità aumentano procedendo da NW verso SE. Questo fenomeno erosivo interessa sia la porzione superiore sia quella intermedia della Fm Ragusa, ma non le sottostanti formazioni. Nei settori orientali dell'area, il riflettore geometricamente più alto tracciato è quello della Fm Ragusa mentre i soprastanti riflettori relativi al limite

superiore della Fm Tellaro e quello della più recente Fm Gessoso Solfifera non sono stati tracciati perché mancanti; non è pertanto possibile affermare se l'attività erosiva ha coinvolto questi depositi. Per risolvere questo problema si potrebbe scegliere un riflettore facilmente visibile (magari con alti valori di frequenza) e tracciarlo lateralmente per mezzo di *loop* sulle linee sismiche perpendicolari fino al pozzo più vicino. In prossimità del canale erosivo si trova il pozzo Oreste 1 distante 2.50 km dalla sezione sismica C – 574 7.01 km dalla sezione sismica C - 576. Le informazioni stratigrafiche contenute nel pozzo Oreste 1, però, non consentono né di riconoscere le litologie presenti in questi depositi né tanto meno di datarli. L'assenza di questi dati è da attribuire al fatto che la compagnia Agip Mineraria non ha né raccolto i cuttings né registrato le curve dei logs dei sedimenti più superficiali. Il riflettore più superficiale individuato sulla linea sismica C – 574 e nel pozzo Oreste 1 corrisponde all'orizzonte di colore verde chiaro. Quest'ultimo, attribuito nella porzione centrale ed occidentale dell'area al limite tra la soprastante Fm Tellaro e la sottostante Fm Ragusa, verso Est segna il passaggio tra la Fm Monti Climiti e la Fm Cozzo Cugni.

All'interno di questo grande canale, visibile esclusivamente sulle sezioni perpendicolari alla linea di costa, si trovano depositi di riempimento il cui spessore aumenta procedendo da NW verso SE.

Mettendo a confronto le informazioni ricavate dall'analisi delle linee sismiche con gli elaborati realizzati, è possibile vedere se esiste una qualche relazione temporale tra la genesi del canale visibile sulle linee sismiche C – 580, C – 574 e C - 576 e i due meccanismi deformativi riconosciuti nell'area di studio. Rispetto al primo, quello che coinvolge la struttura compressiva posta più a NW (numero 1 di Figura 4.29), si può affermare che la formazione della depressione avviene in un unico evento, contemporaneamente all'ultima fase tettonica iniziata nell'Oligocene – Miocene. Riguardo al secondo evento, quello responsabile della formazione delle anticlinali e delle sinclinali presenti al centro dell'area (numeri 2, 3 e 4 di Figura 4.29), si può affermare che la formazione del canale è successiva l'attività deformativa, la quale ha agito fino al Paleocene – Eocene durante la deposizione della porzione inferiore della Fm Ragusa.

Al di sopra della Fm Ragusa, almeno nei settori centrali e in quelli occidentali, avviene la deposizione della Fm Tellaro la quale consiste in un pacco isopaco caratterizzato da una sismofacies trasparente; il tetto di questa formazione è assente nella porzione orientale dell'area a causa di erosione.

Terminata la deposizione della sottostante Fm Tellaro avviene un cambiamento delle condizioni ambientali. Inizia la chiusura del Mar Mediterraneo, aumenta la salinità del mare ed inizia la deposizione di gessi e anidriti. Queste litologie costituiscono la successione

sedimentaria della Fm Gessoso Solfifera riconosciuta in vaste aree del Mediterraneo. Essa, facilmente riconoscibile sui profili sismici, consiste in una coppia di riflettori con alti valori di ampiezza e buona continuità laterale. Come per il limite superiore della Fm Tellaro, anche quello della Fm Gessoso Solfifera è assente nei settori orientali dell'area per erosione.

Diversamente da quanto osservato finora, sia all'interno della Fm Gessoso Solfifera sia nella sottostante Fm Tellaro, non sono presenti tracce dell'attività vulcanica né come intercalazioni all'interno della sequenza sedimentaria (vulcanoclastiti) né come edifici massivi di più grosse dimensioni (vulcaniti).

Dopo la deposizione della Fm Gessoso Solfifera ha inizio una fase distensiva responsabile della formazione, sia nei settori centrali sia in quelli occidentali, di numerose faglie normali riconoscibili dall'andamento del limite superiore della Fm Gessoso Solfifera il quale si presenta frammentato in numerosi blocchi. Nonostante tutta l'area sia interessata da tettonica distensiva, si è scelto di analizzare, e di tracciare sulle sezioni sismiche, l'andamento di una sola superficie di faglia riconosciuta sulle linee sismiche parallele alla linea di costa (o quasi tutte) e sul profilo sismico C – 594, perpendicolare. Essa consiste in una faglia normale a direzione N 40 il cui andamento, come visibile dal grid realizzato con Kingdom 8.2 (Figura 4.34) e nell'elaborato (Figura 4.35), non è rettilineo. Tale superficie ribassa la porzione nord-occidentale dell'area rispetto quella sud-orientale dividendo l'intera zona in due settori.

Nonostante la presenza di numerose faglie, sui profili sismici, si è scelto di tracciare una sola superficie di faglia facilmente riconoscibile per gli alti rigetti da essa generati. Prima di poter realizzare il grid con il programma Kingdom è necessario effettuare il picking manuale della superficie di faglia sulle linee sismiche ed infine adoperare il comando di Create Grid. Alla fine di questo processo il software produce, tramite l'ausilio di una scala di colori, l'andamento in pianta della superficie di faglia come quello mostrato in Figura 4.35. I colori più scuri (tonalità sul blu) indicano i punti dove la superficie di faglia raggiunge la profondità massima mentre quelli in rosso – arancione rappresentano i punti più superficiali. Le linee sismiche che intersecano la superficie di faglia sono le seguenti: C – 529, C – 531, C – 533, C – 537 W, C – 539, C – 541, C – 543, parallele alla linea di costa, e C – 594, perpendicolare alla linea di costa.

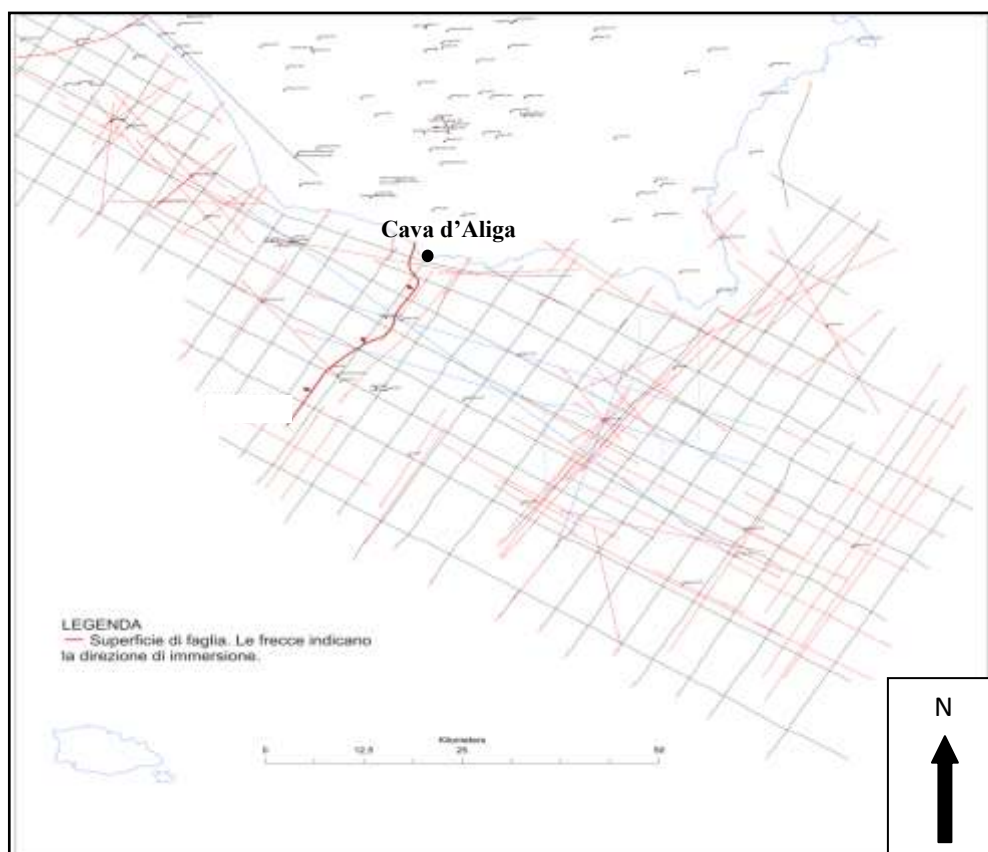


Figura 4.34: Andamento in pianta della superficie di faglia.

Il medesimo risultato è rappresentato con il software Kingdom 8.2 (Figura 4.35).

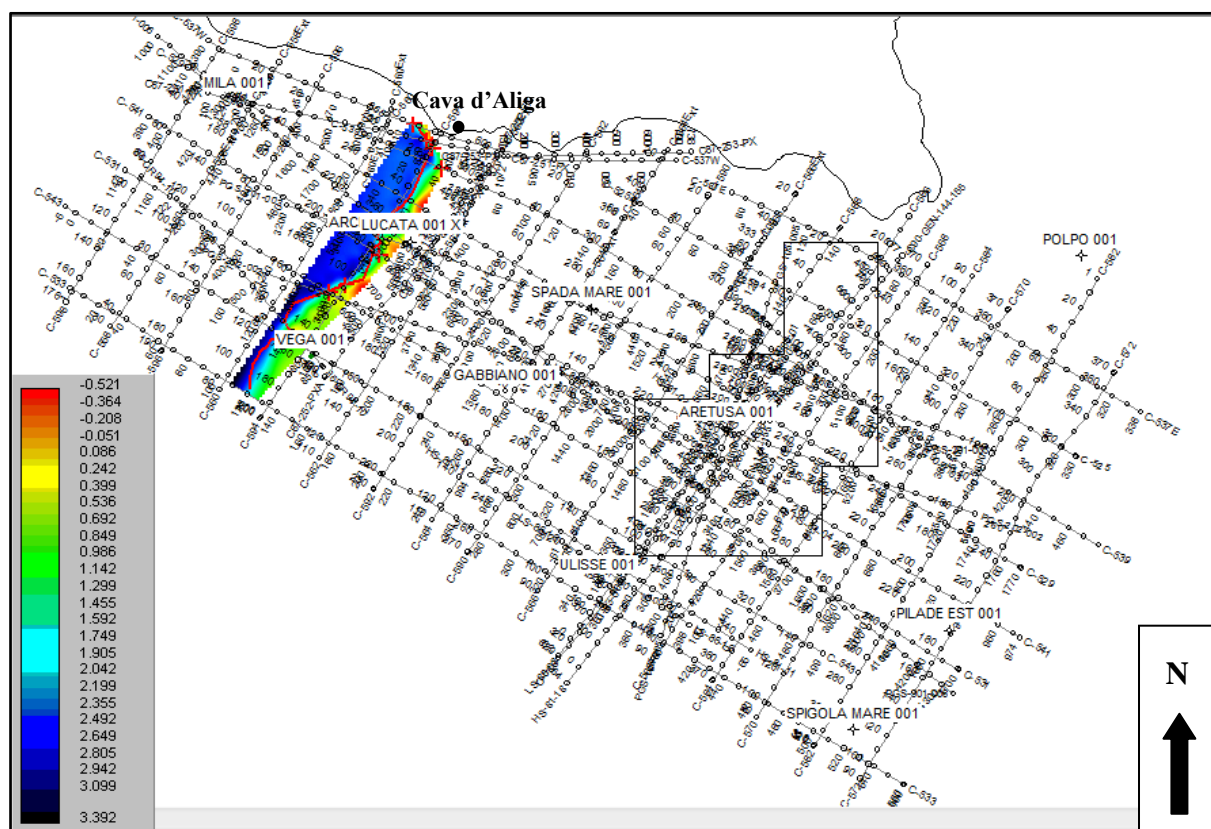


Figura 4.35: Andamento in pianta della superficie di faglia. In blu sono indicati i punti in cui la superficie raggiunge la profondità massima mentre in rosso i punti più superficiali.

Il primo punto in cui si riconosce la superficie di faglia è la linea sismica C – 541 tra gli shot 541 e 560. In questo tratto di sezione sismica sono proiettati il pozzo Archimede 1 (shot 540) e il pozzo Lucata 001x (shot 555) rispettivamente ad una distanza di 1.22 km e 1.83 km. In questi due pozzi, molto vicini tra di loro, sono presenti informazioni stratigrafiche differenti. Il primo pozzo attraversa i depositi plio-pleistocenici e il limite superiore della Fm Gessoso Solfifera e poi tutte le formazioni geologiche, arrivando fino al tetto della Fm Streppenosa; il secondo pozzo, invece, incontra prima la Fm Tellaro e la Fm Ragusa e poi le formazioni geologiche costituenti la successione bacinale mesozoica. In questo secondo pozzo (Lucata 001x) i limiti superiori delle formazioni geologiche si trovano a profondità minori rispetto ai limiti superiori delle medesime formazioni nel vicino pozzo Archimede 1. Riconosciuta questa situazione dai dati stratigrafici, si è scelto di vedere se la stessa condizione era riscontrabile nei profili sismici. Si è partiti prima analizzando il profilo C – 541, sul quale sono proiettati i due pozzi, e poi le linee sismiche vicine sia quelle parallele sia quelle perpendicolari alla linea di costa. Alla fine della fase interpretativa si è scelto di realizzare un elaborato nel quale riportare l'andamento in pianta della superficie di faglia normale.

In Figura 4.34 e 4.35 è visibile l'andamento della superficie di faglia estesa dall'abitato di Cava d'Aliga fin dopo la sezione sismica C – 533. Sulla base delle informazioni bibliografiche provenienti dai dati di letteratura, è noto che nell'onshore ragusano è stata riconosciuta una faglia trascorrente di notevole importanza chiamata Scicli Line estesa nell'area Iblea fino al Graben di Scordia Lentini. Utilizzando le carte strutturali presenti nel lavoro di Catalano et al. (2008) e l'elaborato relativo alla superficie di faglia, è possibile osservare un'analogia tra le due superficie di faglia, presenti nei pressi dell'abitato di Cava d'Aliga (Rg).

Osservando contemporaneamente l'elaborato relativa all'andamento in pianta della superficie di faglia e quello contenente i piani assiali delle strutture compressive è possibile notare una situazione di parallelismo tra la faglia normale e i piani assiali della struttura compressiva posta a NW. Da come si può osservare sulla carta di base, questa faglia normale divide il fianco nord-occidentale dell'anticlinale in due porzioni come visibile sui profili sismici C – 529 e C – 539.

Per definire l'intervallo temporale in cui ha avuto inizio la tettonica distensiva è necessario utilizzare i profili sismici e vedere quali depositi sono interessati da dislocazione e quali no. Su tutti i profili sismici paralleli alla linea di costa, ad eccezione delle linee C – 523, C – 525, C – 535 e C – 537E, i depositi compresi tra il limite superiore della Fm Gessoso Solfifera e la Fm Streppenosa sono interessati dalla faglia normale; quest'ultima, all'aumentare della profondità, assume rigetti via via maggiori. I sedimenti più recenti, di età Pliocene-

Quaternario, posti al di sopra del limite superiore della Fm Gessoso Solifera non sono interessati da alcun tipo di dislocazione, pertanto è possibile affermare che tale superficie di faglia si sia generata in un intervallo di tempo compreso tra la deposizione del tetto della Fm Gessoso Solifera e la sedimentazione dei primi depositi plio-pleistocenici.

Un'altra caratteristica che è possibile notare riguarda l'andamento spaziale della superficie di faglia. In alcune di queste sezioni sismiche C – 531, C – 533, C – 541 e C – 543, al di sopra della superficie di faglia, giacciono i depositi plio-pleistocenici la cui sedimentazione avviene all'interno di una enorme depressione generata dal tetto della Fm Gessoso Solifera (Figura 4.36); sulle linee sismiche C – 529 e C - 539, in corrispondenza dell'anticlinale numero 1 di Figura 4.16, la faglia normale raggiunge il fondo del mare senza interessare né la Fm Gessoso Solifera né i depositi più recenti come mostrano le sezioni sismiche C – 529 (shot 1362) e C – 539 (shot 42). Tale situazione è visibile in (Figura 4.37).

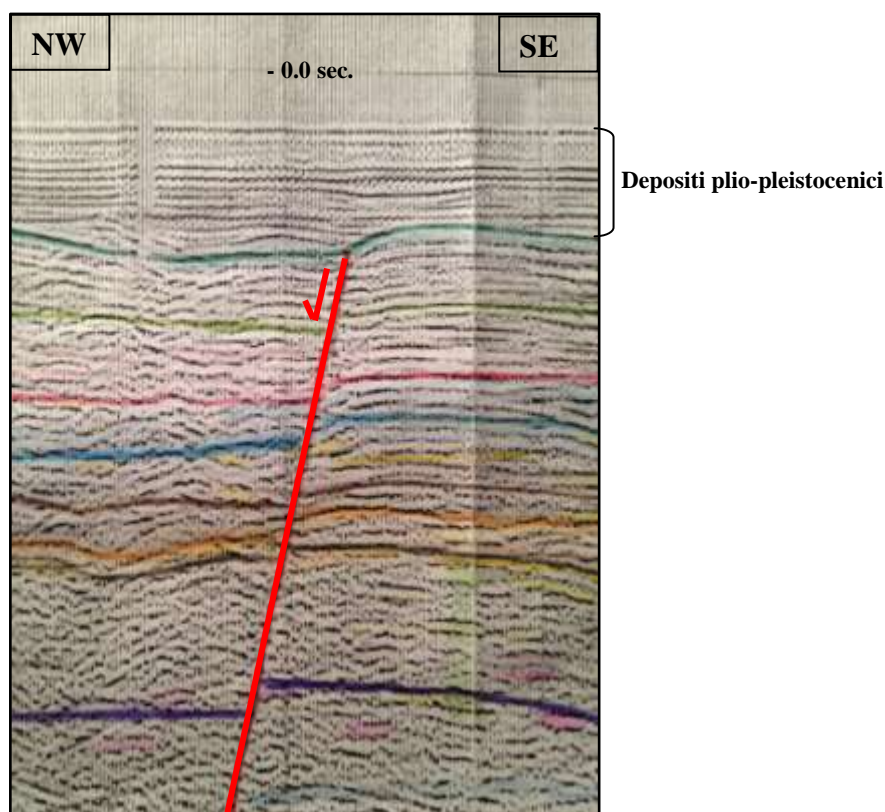


Figura 4.36: Profilo sismico C - 543 (shot 127 – 160). Al di sopra del riflettore di colore verde scuro (limite superiore della Fm Gessoso Solifera) si trovano i depositi plio-pleistocenici, non interessati dalla superficie di faglia. Quest'ultima ribassa la porzione nord-occidentale dell'area rispetto a quella sud-orientale.

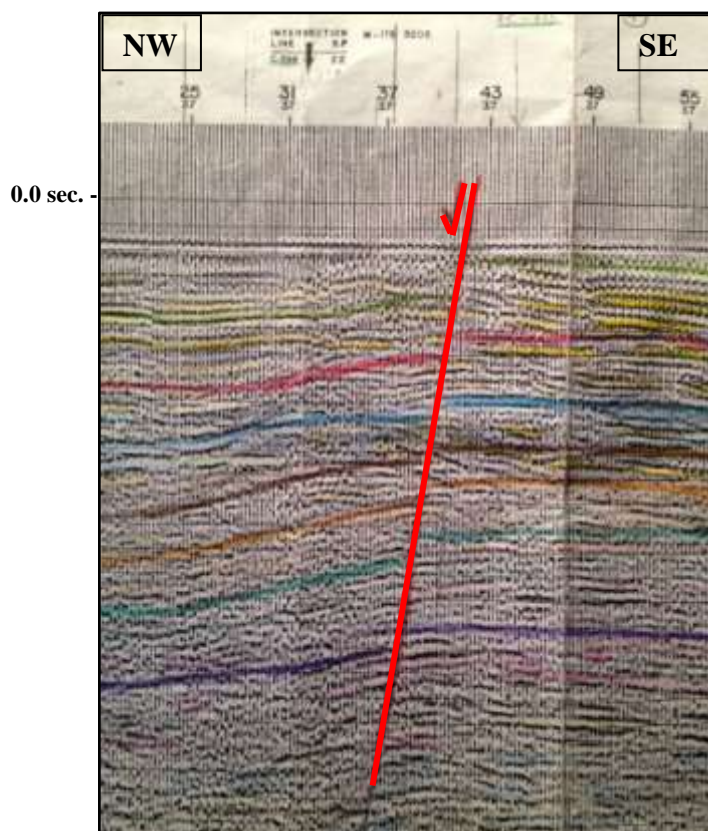


Figura 4.37: Profilo sismico C - 539 (shot 19 – 57). Il riflettore geometricamente più alto visibile in questa sezione sismica è quello di colore verde chiaro che corrisponde al limite superiore della Fm Ragusa. In questo profilo sismico non sono presenti i depositi plio-pleistocenici. In rosso è riportata la superficie di faglia la quale ribassa la porzione nord-occidentale dell'area rispetto a quella sud-orientale.

In queste ultime due sezioni, ai due lati della superficie di faglia, si riconoscono due diversi casi: verso NW si trovano sia i limiti superiori di tutte le formazioni geologiche di sottosuolo sia i depositi più recenti (età Pliocene – Quaternario) mentre a SE la successione sedimentaria inizia dalla porzione inferiore della Fm Tellaro e mancano i depositi plio-pleistocenici, la Fm Gessoso Solfifera e la porzione superiore della Fm Tellaro.

Andando a sovrapporre l'elaborato in cui è riportato l'andamento della superficie di faglia (Figura 4.34) con quelli relativi alla distribuzione areale dei corpi vulcanici (Figure 4.16, 4.20 e 4.25), è possibile notare una corrispondenza tra l'andamento della superficie di faglia e la distribuzione areale dell'attività vulcanica. I corpi vulcanici visibili in prossimità dell'anticlinale nord-occidentale (numero 1 in Figura 4.29) si trovano nelle Formazioni Hybla, Chiaramonte, Buccheri e Modica. La messa in posto di questi edifici vulcanici è visibile sulle linee sismiche C – 529, C – 531, C – 539, C – 541, C – 594 e 1 – 86 CR94 – 10.

Al di sopra della Fm Gessoso Solfifera avviene la deposizione dei depositi plio-pleistocenici i quali si depongono, con spessori variabili, in tutta l'area di indagine. Osservando il grid relativo al limite superiore della Fm Gessoso Solfifera è possibile riconoscere che questa superficie ha un andamento pianeggiante nei settori centrali e in quelli orientali mentre, verso

SW, a causa dell'aumento di inclinazione del tetto della Fm Gessoso Solfifera, si genera una depressione. Data la presenza di questi dislivelli, lo spessore dei sedimenti di età post Messiniano varia a seconda dei settori, con spessori minimi a NE e massimi a SW. All'interno della depressione, a partire dal basso geometrico, si distingue un primo livello trasparente il cui spessore è massimo al centro e minimo ai bordi. Al di sopra di questo intervallo si distinguono due famiglie di clinoformi e di ognuna è possibile distinguerne le caratteristiche morfologiche (bottomset, foreset e topset). Sulla base delle informazioni provenienti dall'analisi delle linee sismiche e della geometria di ogni famiglia di clinoformi è possibile riconoscere un'area di alimentazione posta a NNE in una zona rilevata, al di fuori dell'area di studio.

Nei settori più rilevati, dove il tetto della Fm Gessoso Solfifera è sub-orizzontale, i sedimenti più recenti mostrano spessori limitati e i riflettori sono orizzontali e paralleli al limite superiore della Fm Gessoso Solfifera.

Tutti i depositi plio-pleistocenici presenti nell'area non sono interessati né da attività compressiva, né da quella distensiva e tanto meno da quella vulcanica. Solo lungo la sezione sismica C – 533 verso NW, all'interno della prima famiglia di clinoformi, è possibile riconoscere un settore in cui le porzioni inferiori delle clinoformi sono in condensazione sul livello trasparente sottostante (Figura 4.14). La fase tettonica di età plio-pleistocenica responsabile della fase di sollevamento tettonico è visibile solo nei settori sud-occidentali dell'area sulla linea sismica C – 533, all'interno della depressione generata dal top della Fm Gessoso Solfifera.

Come già affermato nell'introduzione, nel progetto CR 148 sono contenute 49 linee sismiche alcune parallele alla linea di costa e altre perpendicolari; di tutte queste si è scelto di esportare prima l'intera linea sismica C – 541 e poi una porzione della medesima sezione sismica (tra 620 e 710) su cui è presente un'anticlinale asimmetrica. Dopo aver esportato entrambi i profili in formato SegY si è passati all'esportazione degli orizzonti e della superficie di faglia in formato GeoQuest – CARD IMAGE 7.

Si è scelto il profilo sismico C – 541 in quanto esso attraversa perpendicolarmente tutte le strutture compressive e la superficie di faglia. Inoltre questa sezione sismica attraversa un solo corpo vulcanico di piccole dimensioni localizzato nella porzione sud-orientale dallo shot 890 fino a fine linea sismica. Questo edificio vulcanico è localizzato sia all'interno della Fm Modica sia nella Fm Buccheri.

La sezione sismica su cui si è scelto di effettuare il processo di *time – depth conversion* è la sezione sismica C – 541. Essa, orientata NW – SE, giace in prossimità di 5 pozzi posti a diverse distanze dal profilo sismico:

1. Archimede 1 (distante 1.202 km);
2. Aretusa 1 (distante 2.323 km);
3. Gabbiano 1 (distante 4.374 km);
4. Lucata 001x (distante 2.251 km);
5. Pilade Est 1 (distante 2.427 km).

I pozzi Aretusa 1 e Gabbiano 1 sono tarati con il metodo VSP da parte delle compagnie petrolifere mentre per i restanti tre pozzi (Archimede 1, Lucata 001x e Pilade Est 1) si sono utilizzati i dati stratigrafici e le informazioni provenienti dalle linee sismiche al fine di ricavare i valori di velocità dei depositi costituenti la successione sedimentaria e dei corpi vulcanici in essi contenuti.

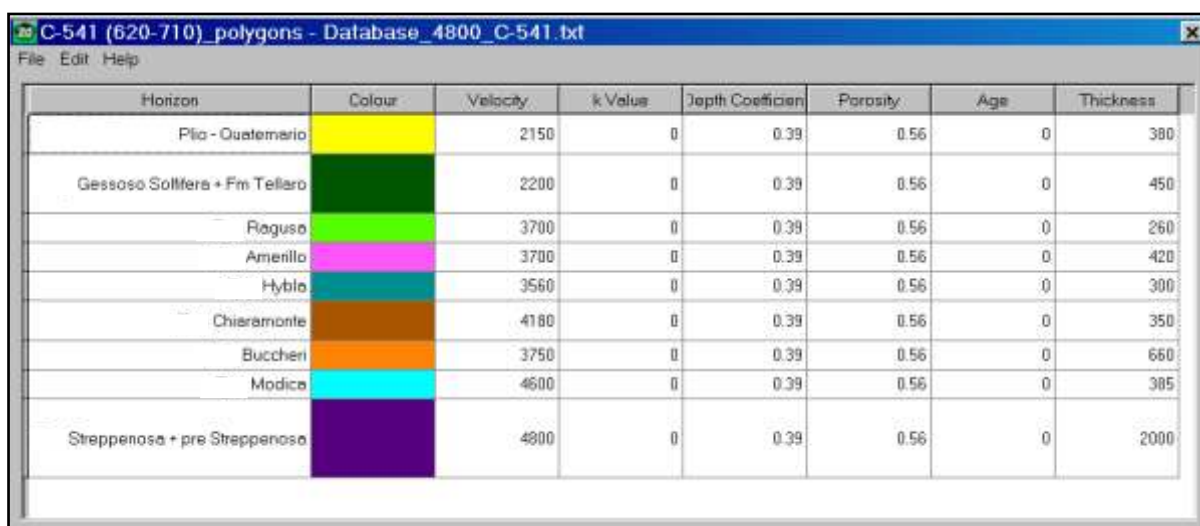
Grazie alle informazioni relative alle analisi di velocità di questi cinque pozzi si è calcolato, con una media pesata, il valore di velocità e di spessore medio per ognuno degli intervalli riconosciuti sulle sezioni sismiche e nei pozzi; in seguito, con il software Move, si è scelto di creare un poligono per ognuno degli intervalli individuati ed attribuire ognuno di essi un valore medio di velocità e di spessore. Nel calcolo della media pesata si è agito considerando la distanza di ogni pozzo dalla linea sismica C – 541, di modo tale da assegnare un peso maggiore ai dati dei pozzi più vicini ed uno minore a quelli dei pozzi più lontani. Nonostante questi pozzi distino dalla linea sismica tra 1.202 e 2.427 km, essi sono quelli che permettono di avere i risultati migliori.

I valori medi finali di spessore e di velocità sono riportati nella sottostante Tabella 4.1.

	Spessore medio (m)	Velocità media (km/s)
Pliocene - Quaternario	380	2.150
Fm Gessoso Solifera	450	-
Fm Tellaro		2.200
Fm Ragusa	260	3.700
Fm Amerillo	420	3.700
Fm Hybla	300	3.560
Fm Chiaramonte	350	4.180
Fm Buccheri	660	3.750
Fm Modica	385	4.600
Fm Streppenosa + pre Streppenosa	-	-

Tabella 4.1: Valori di spessore (m) e velocità (km/s) medi relativi ai diversi intervalli riconoscibili sulla linea sismica C – 541.

Nella Tabella 4.1 si può notare che l'ultima riga, quella relativa al poligono più profondo, non contiene né un valore di spessore medio (m) né uno di velocità (km/s) in quanto nessuno dei pozzi in questione e nemmeno i restanti presenti nel resto dell'area di studio perforano la base della Fm Streppenosa. Per delimitare la base del poligono più profondo si è scelto di tracciare manualmente, per mezzo del comando Create Line, un orizzonte in corrispondenza di una coppia di riflettori con buona continuità laterale e facilmente riconoscibile per gli alti valori di frequenza. Data l'assenza di valori di velocità e di spessore nell'ultima riga della Tabella, si è scelto, per poter svolgere la conversione tempo – spazio, di fare diversi tentativi attribuendo valori di spessore medio e velocità media diversi al poligono più profondo (colore viola scuro) relativo alla Fm Streppenosa, e di osservarne le differenze. Per lo spessore di questo poligono, date le informazioni provenienti dai dati stratigrafici contenuti nei pozzi, si è scelto di utilizzare prima un valore di spessore di 2'000 metri e poi di 3'000 metri; riguardo la velocità, invece, si è deciso di utilizzare i valori di 4.800 (Figura 4.38), 4.900 e 5.000 km/s (Figura 4.39).



Horizon	Colour	Velocity	k Value	Depth Coefficient	Porosity	Age	Thickness
Plio - Quaternario	Yellow	2150	0	0.39	0.56	0	380
Gessoso Solfers + Fm Tellaro	Dark Green	2200	0	0.39	0.56	0	450
Ragusa	Bright Green	3700	0	0.39	0.56	0	260
Amenillo	Magenta	3700	0	0.39	0.56	0	420
Hybla	Teal	3560	0	0.39	0.56	0	300
Chisaramonte	Brown	4180	0	0.39	0.56	0	350
Buccheri	Orange	3750	0	0.39	0.56	0	660
Modica	Cyan	4600	0	0.39	0.56	0	385
Streppenosa + pre Streppenosa	Dark Purple	4800	0	0.39	0.56	0	2000

Database 4.1: Parametri scelti per la *time – depth conversion* della linea sismica C – 541. I valori di velocità e di spessore attribuiti ad ogni poligono provengono dalla media pesata dei dati ricavati da ognuno dei pozzi. Per il poligono geometricamente più profondo di colore viola scuro si è scelto un valore di velocità pari a 4800 km/s e di spessore uguale a 2000 metri.

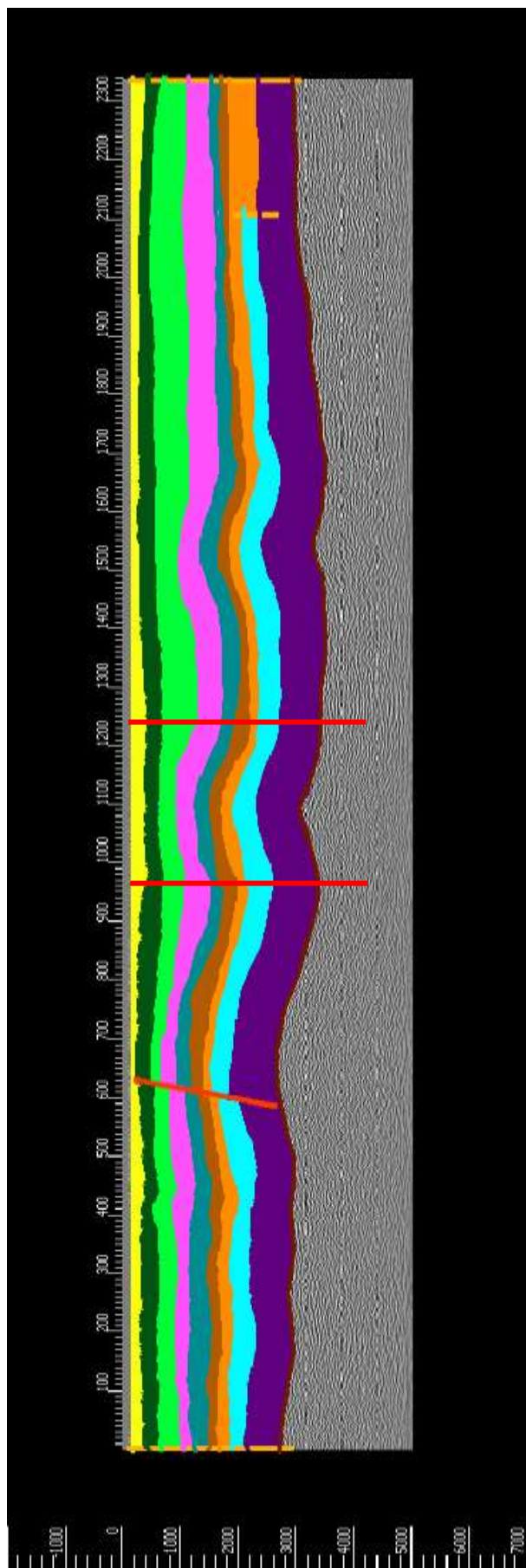


Figura 4.38: *Time - depth conversion* della linea sismica C - 541. I valori attribuiti all'intervallo di colore viola scuro sono: velocità 4.800 km/s, spessore 2'000 metri. Le due linee rosse parallele delimitano la porzione di linea sismica compresa tra gli shots 620 e 710.

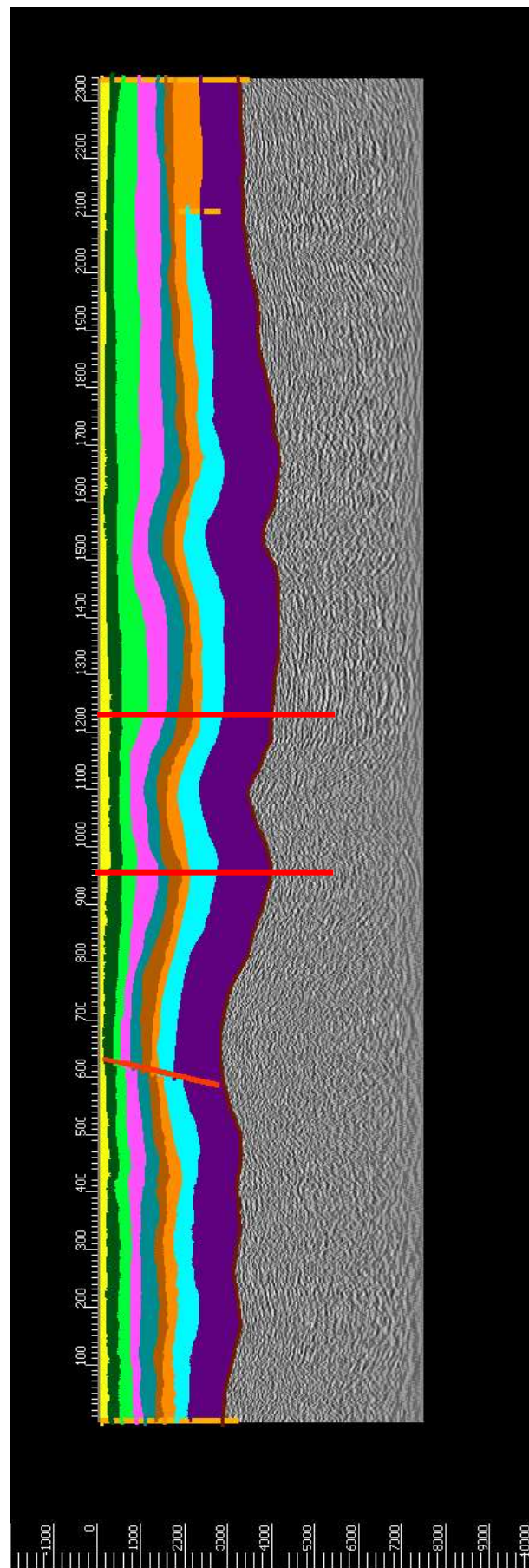


Figura 4.39: *Time - depth conversion* della linea sismica C - 541. I valori attribuiti all'intervallo di colore viola scuro sono: velocità 4.800 km/s, spessore 2'000 metri. Le due linee rosse parallele delimitano la porzione di linea sismica compresa tra gli shots 620 e 710.

Dopo la conversione dell'intero profilo sismico C – 541 si è scelto di ripetere lo stesso procedimento per una porzione della linea sismica C – 541 (shots 620 – 710) in cui si riconosce un'anticlinale asimmetrica. Su quest'ultima, come visibile nell'elaborato relativo ai piani assiali, si trova la seconda struttura compressiva localizzata nella porzione centrale dell'area (numero 2 di Figura 4.29). Per effettuare la *time – depth conversion* di questo tratto di sezione sismica è necessario, anche in questo caso, conoscere i valori di velocità e gli spessori di ognuno degli intervalli in cui è suddivisa la linea sismica. Questi valori provengono dalle informazioni stratigrafiche contenute nei tre pozzi più vicini:

- Aretusa 1 (distante 2.323 km);
- Gabbiano 1 (distante 4.374 km);
- Spada Mare 1 (distante 4.818 km).

Le informazioni stratigrafiche disponibili in questi tre pozzi sono utilizzate per calcolare nuovi valori di spessore e velocità medi di ognuno degli intervalli in cui è divisa la sezione sismica. I risultati ottenuti sono riportati nella sottostante tabella (Tabella 4.2).

	Spessore medio (m)	Velocità media (km/s)
Pliocene - Quaternario	190	1.950
Fm Gessoso Solifera	450	-
Fm Tellaro		2.150
Fm Ragusa	480	3.750
Fm Amerillo	690	3.900
Fm Hybla	490	3.573
Fm Chiaramonte	210	4.505
Fm Buccheri	630	3.980
Fm Modica	540	4.800
Fm Streppenosa + pre Streppenosa	-	-

Tabella 4.2: Valori di spessore (m) e velocità (km/s) medi relativi ai diversi intervalli riconoscibili in un tratto della linea sismica C – 541.

Le informazioni ricavate dalla taratura delle linee sismiche sono contenute in Tabella 4.2 e consentono al procedimento di conversione tempo – spazio. Come visibile in questa tabella l'ultima riga, come nel caso precedente, è priva di alcun valore.

C-541 (620-710)_polygons - Database_4800_C-541(620-710).txt							
Horizon	Colour	Velocity	k Value	Depth Coefficient	Porosity	Age	Thickness
Plio - Quaternario		1950	0	0.39	0.56	0	190
Gessoso Solifera + Fm Tellaro		2150	0	0.39	0.56	0	450
Ragusa		3750	0	0.39	0.56	0	480
Amerillo		3900	0	0.39	0.56	0	690
Hybla		3573	0	0.39	0.56	0	490
Chieramonte		4505	0	0.39	0.56	0	210
Buccheri		3980	0	0.39	0.56	0	630
Modica		4800	0	0.39	0.56	0	540
Streppenosa + pre Streppenosa		4800	0	0.39	0.56	0	2000

Database 4.2: Parametri per la *time – depth conversion* di una porzione della linea sismica C – 541 tra gli shot 620 e 710. I valori di velocità e di spessore attribuiti ad ogni poligono provengono dalla media pesata dei valori ricavati da ognuno dei pozzi. Al poligono geometricamente più profondo di colore viola scuro si è attribuito un valore di velocità pari a 4800 km/s e di spessore uguale a 2000 metri.

Compilato il Database 4.2 è possibile procedere al processo di *time – depth conversion*. Come per la conversione tempo – spazio del profilo C – 541 si è scelto di attribuire diversi valori di spessore e velocità all'intervallo più profondo, coincidente con il poligono di colore viola scuro, e relativo sia alla Fm Streppenosa sia ai depositi pre – Streppenosa. A questo poligono, nella casella relativa allo spessore, si è scelto di attribuirgli prima il valore di 2'000 e poi quello di 3'000 metri mentre nella cella relativa alle velocità i valori di 4.800, 4.900 e 5.000 km/s.

Nei casi mostrati qui di seguito (Figure 4.40 – 4.43) non si notano differenze di notevole rilevanza tra i diversi risultati ottenuti.

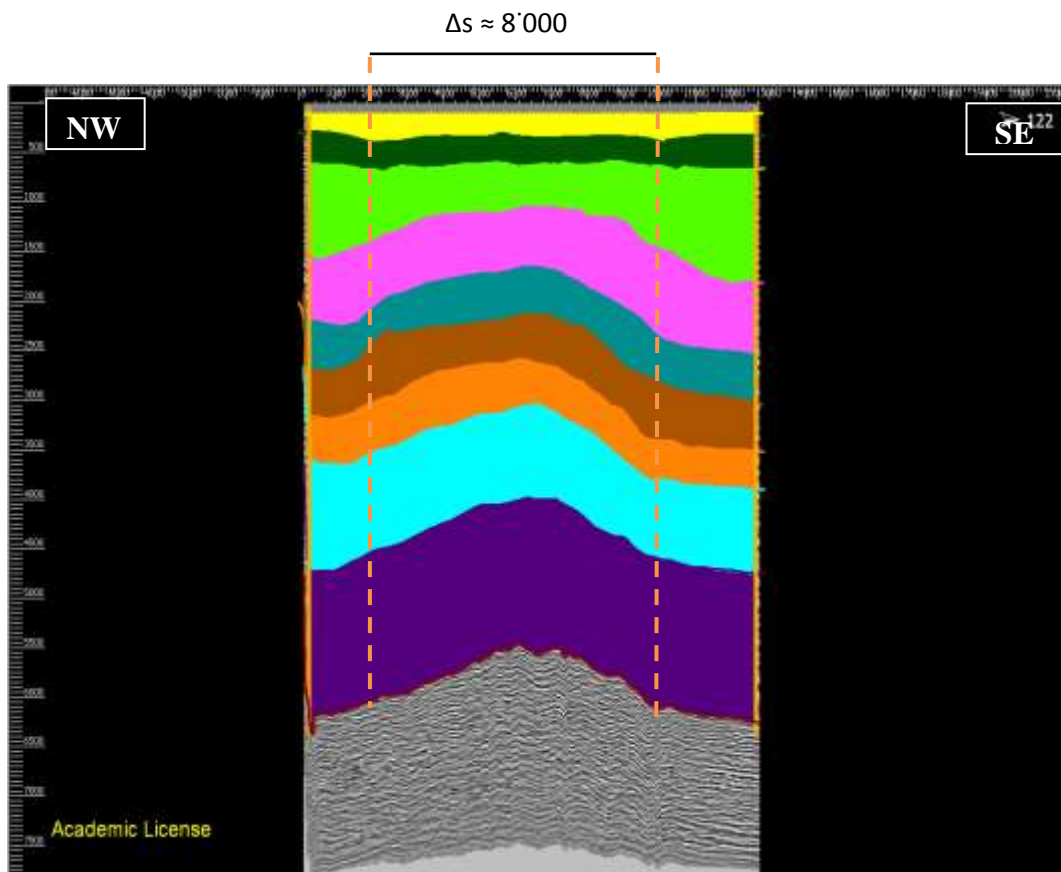


Figura 4.40: *Time - depth conversion* della sezione sismica C - 541 (shots 620 - 710). Per il poligono viola si è scelto un valore di spessore pari a 2'000 metri ed una velocità di 4.800 km/s.

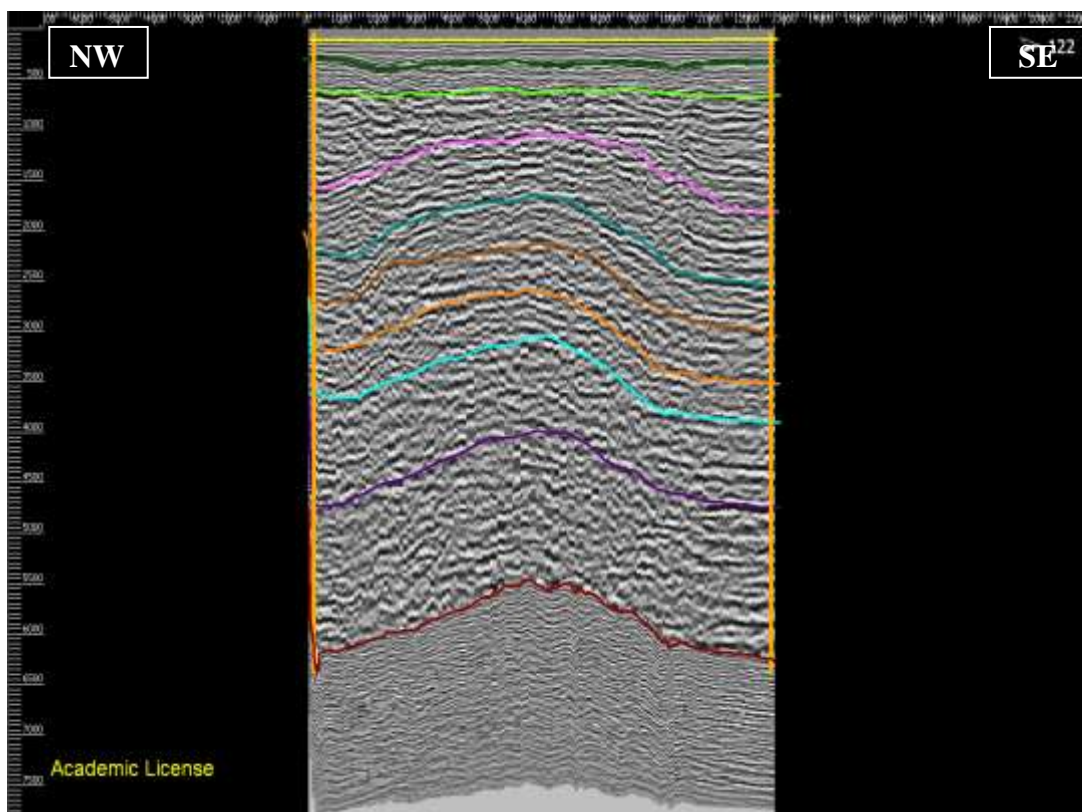


Figura 4.41: *Time - depth conversion* della sezione sismica C - 541 (shots 620 - 710). Per l'intervallo più profondo, compreso tra l'orizzonte viola scuro e bordeaux, si è scelto un valore di spessore pari a 2'000 metri ed una velocità di 4.800 km/s. In questo caso non sono mostrati i poligoni, ma solo i limiti superiori delle formazioni.

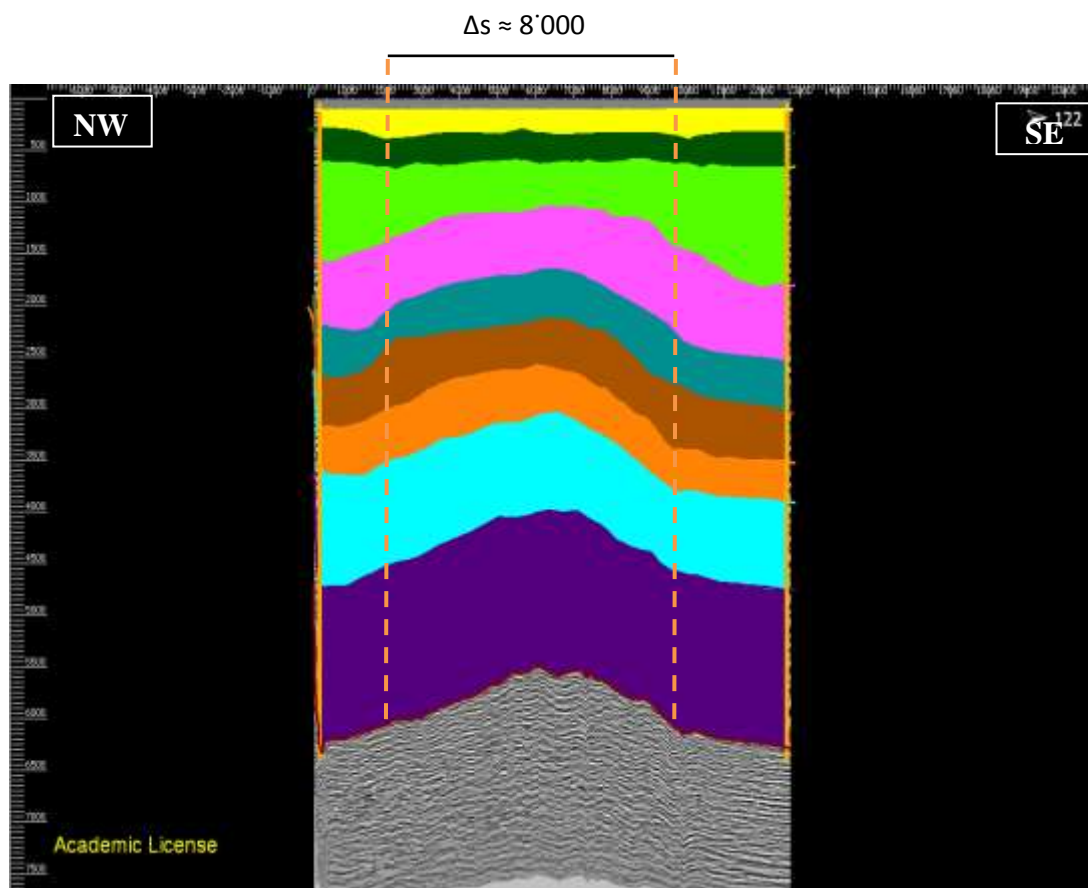


Figura 4.42: *Time - depth conversion* della sezione sismica C - 541 (shots 620 - 710). Per il poligono viola si è scelto un valore di spessore pari a 2'000 metri ed una velocità di 4.900 km/s.

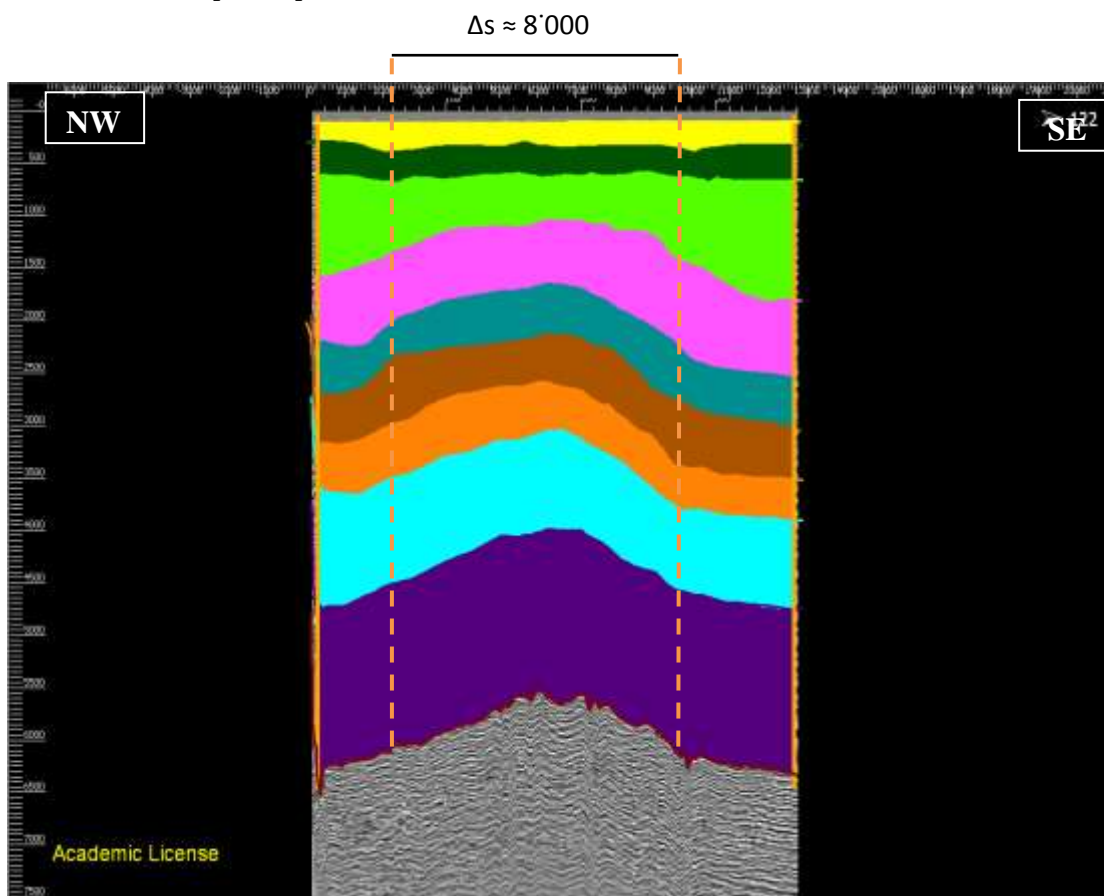


Figura 4.43: *Time - depth conversion* della sezione sismica C - 541 (shots 620 - 710). Per il poligono viola si è scelto un valore di spessore pari a 2'000 metri ed una velocità di 5.000 km/s.

Dopo aver effettuato la *time – depth conversion* della porzione di linea sismica C – 541 tra gli shot (620 e 710) si ha a disposizione un tratto di sezione sismica la cui scala verticale è rappresentato dai metri e non più dai secondi mentre quello orizzontale rimane in metri. Nelle Figure 4.40 – 4.43 è possibile distinguere un'anticlinale asimmetrica, lunga all'incirca 8'000 metri, con due fianchi diversi: uno nord-occidentale lungo e poco inclinato ($\sim 25^\circ$) ed uno sud-orientale corto e più inclinato ($\sim 35^\circ$).

Note le caratteristiche che presenta questa struttura si è sono scelti due meccanismi deformativi per spiegare l'origine di questa piega asimmetrica: Detachment Fold e Fault Propagation Fold. Il primo meccanismo di deformazione consiste in una piega asimmetrica generatasi al di sopra di una superficie di scollamento, o di un thrust, disposto parallelamente alla stratificazione. Le pieghe da detachment richiedono la presenza un livello duttile di scollamento (ad esempio argille o sale) che va a riempire lo spazio che si genera alla base della piega (McClay, 1992). Questo tipo di struttura è priva di radici e origina pieghe disarmoniche (Figura 4.44).

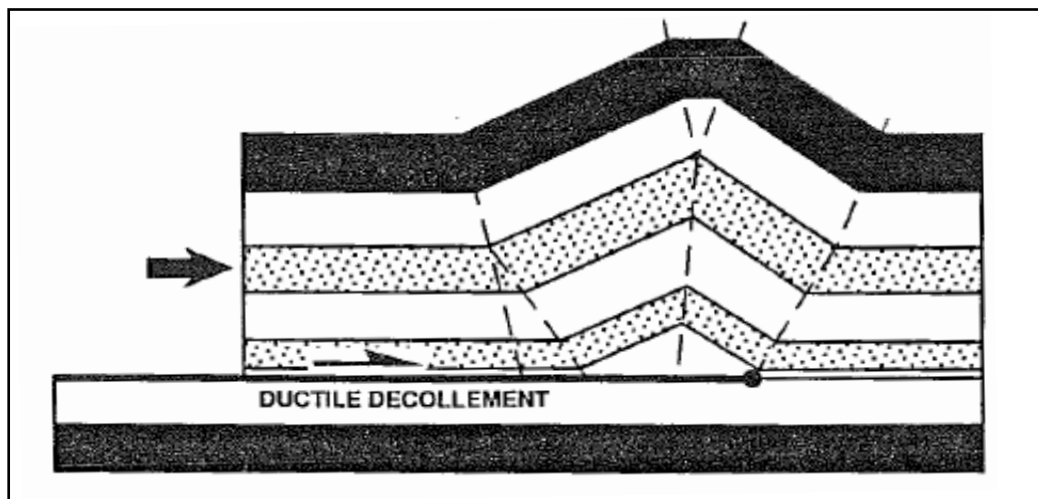


Figura 4.44: Detachment Fold

Il secondo meccanismo comprende quelle pieghe generate dalla propagazione di un thrust attraverso la stratificazione (Figura 4.45).

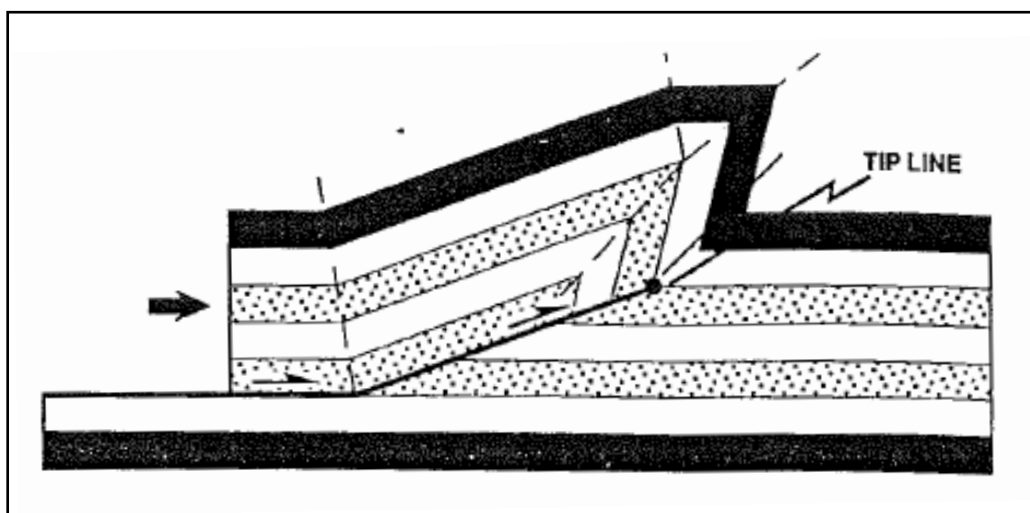


Figura 4.45: Fault Propagation Fold

Una volta riconosciuta la struttura compressiva presente nelle Figure 4.40 – 4.43, per riprodurla con il metodo del *forward modelling*, è necessario realizzare un modello di partenza costituito da riflettori orizzontali, sul quale utilizzare gli algoritmi a disposizione nel software Move. Questo processo consiste in un lavoro di *trial and error* in cui, passaggio per passaggio, si correggono i parametri necessari per ottenere il migliore funzionamento dell'algoritmo. Date le caratteristiche mostrate da questa struttura si è pensato di utilizzare due dei sei algoritmi di cui dispone Move ovvero quello di Detachment Fold e quello di Fault Propagation Fold. Per entrambi i casi, dopo numerosi tentativi, si è riusciti a riprodurre, in modo abbastanza fedele, un'anticlinale asimmetrica simile a quella riconosciuta nella sezione sismica C – 541 tra lo shot 620 e 710 e sulle linee parallele.

Il modello di partenza realizzato consiste in un *cake layer* con sette riflettori orizzontali posti a diversa distanza l'uno dall'altro; ognuno di questi orizzonti coincide con il limite superiore di una delle formazioni geologiche rappresentate nelle linee sismiche (Figura 4.46). Durante la realizzazione di questo modello si è cercato di porre ognuno dei sette orizzonti ad una profondità pari o simile a quella visibile sulle sezioni sismiche *depth converted* di Figura 4.40, 4.42 e 4.43 per i medesimi riflettori.

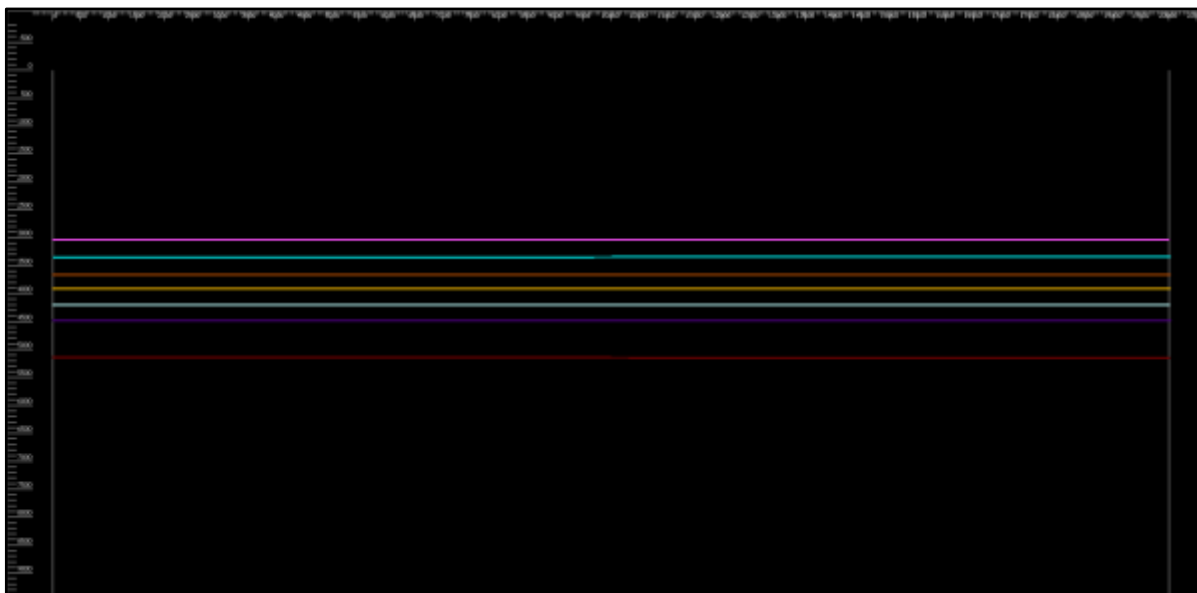


Figura 4.46: Modello di partenza o *cake layer*.

Nel modello di Figura 4.46 si è scelto di rappresentare solo i limiti superiori delle formazioni geologiche e non gli orizzonti in esse contenuti. Per questo motivo, si è scelto di modellizzare solo la deformazione che ha interessato i riflettori e non quella che ha agito all'interno di ognuno degli intervalli, tra un orizzonte e il successivo. Durante la fase interpretativa è stato possibile distinguere due eventi deformativi responsabili della formazione di quattro strutture compressive tra loro parallele. L'anticlinale asimmetrica che si cerca di modellizzare con Move proviene dal secondo evento deformativo la quale coinvolge sia i depositi compresi tra il limite superiore della Fm Amerillo e la base della Fm Streppenosa sia la porzione inferiore della Fm Ragusa. Sulle linee sismiche orientate NW – SE si vede che la parte bassa della sequenza della Fm Ragusa è in condensazione sul top delle anticlinali creando, da entrambi i lati della struttura compressiva, cunei sedimentari convergenti. Questa informazione è di fondamentale importanza durante la fase interpretativa per datare il momento in cui è terminata la fase deformativa, ma di minore importanza per la fase di modellizzazione.

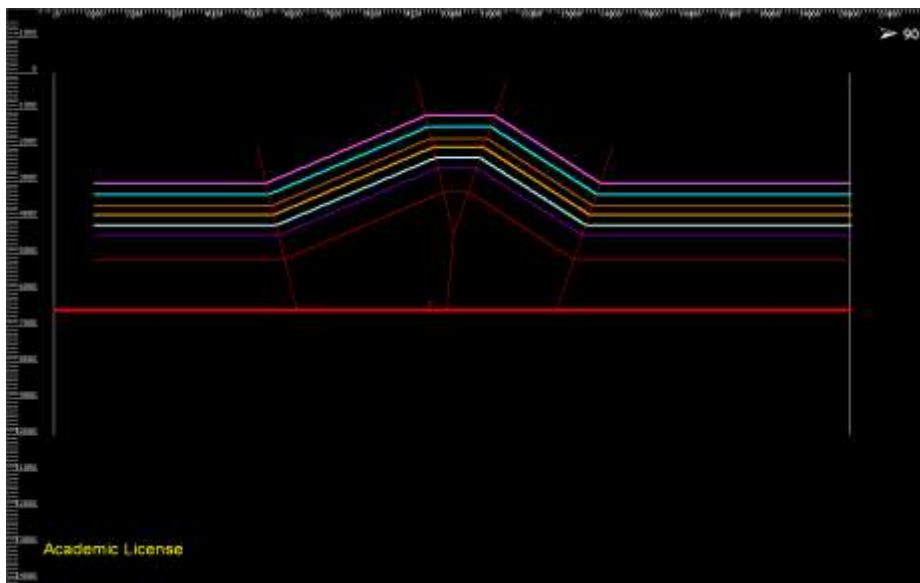
Si è scelto di utilizzare due dei sei algoritmi disponibili nel software Move: Detachment Fold e Fault Propagation Fold. In teoria si sarebbe potuto utilizzare un terzo algoritmo (Trishear), ma l'assenza di informazioni relative all'utilizzo di questo algoritmo nel tutorial del programma Move, non ha permesso il suo utilizzo.

I parametri scelti per l'algoritmo di Detachment Fold sono i seguenti:

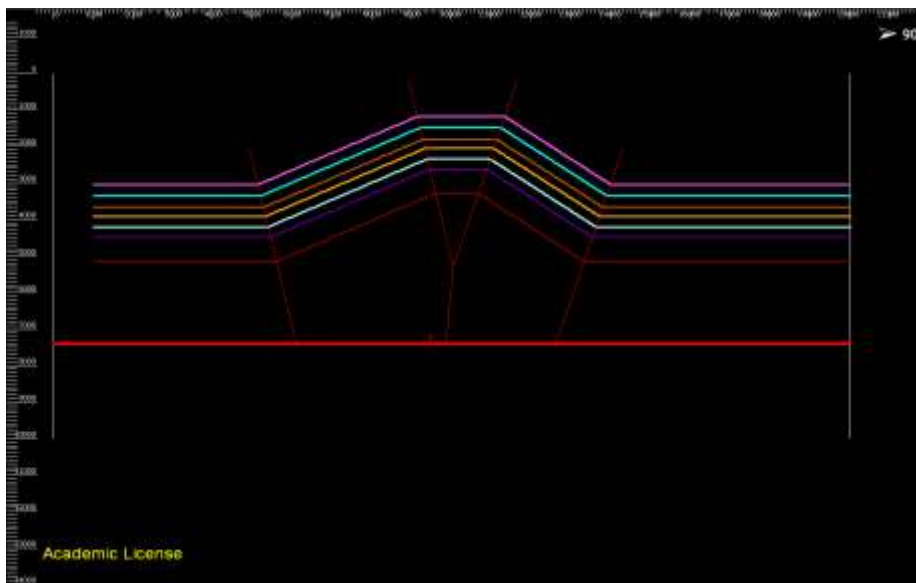
- Displacement = 1'000 metri;
- Numero di step = 1
- Numero di campioni = 500
- Mode = Constant Area
- Backlimb = 25° e Forelimb = 35°

- Pinned at = Center
- Fold Apex = Right
- Ductile Thickness = 250 metri
- Pin Position → non si è scelto nessun valore preciso, ma si è cercato di posizionare l'anticlinale al centro del modello.

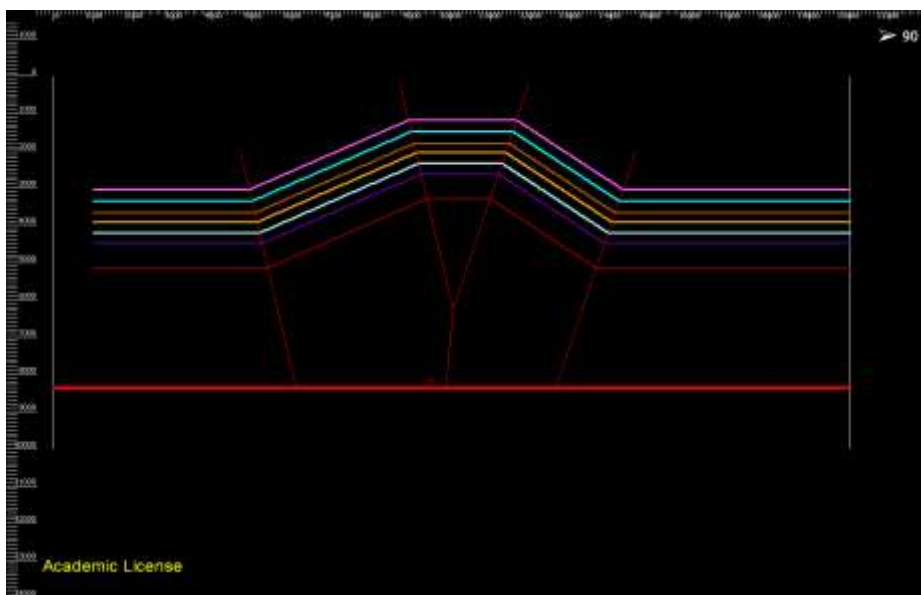
Dopo aver trovato i valori relativi ad ognuno dei parametri si è scelto di traslare la superficie di Ductile detachment a diverse profondità partendo da 6'000 metri arrivando ad una profondità massima di 9'500 metri.



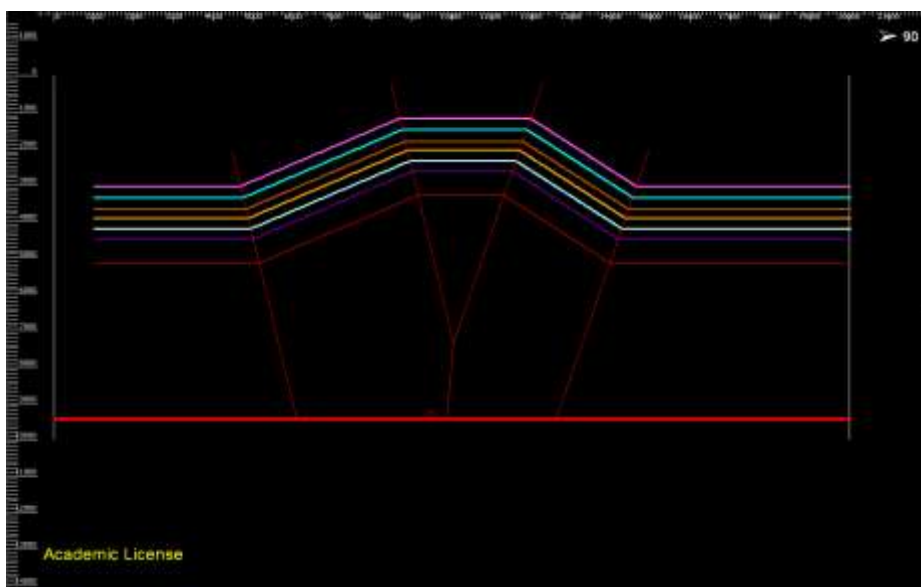
4.47 A



4.47 B



4.47 C



4.47 D

Figura 4.47: Spostamento della superficie di scollamento a profondità maggiori. A. 6'500 metri; B. 7'500; C. 8'500; D 9'500.

I risultati di Figura 4.47 A – D mostrano che, all'aumentare della profondità a cui è posizionata la superficie di scollamento duttile, i fianchi dell'anticlinale assumono l'inclinazione corretta (25 e 35 gradi) mentre la sua ampiezza aumenta fino ad un massimo di 11'000 metri.

La struttura che meglio rappresenta la struttura visibile sulla sezione sismica C – 541 è quella in cui la superficie di scollamento è posta alla profondità di 6'000 metri (Figura 4.48).

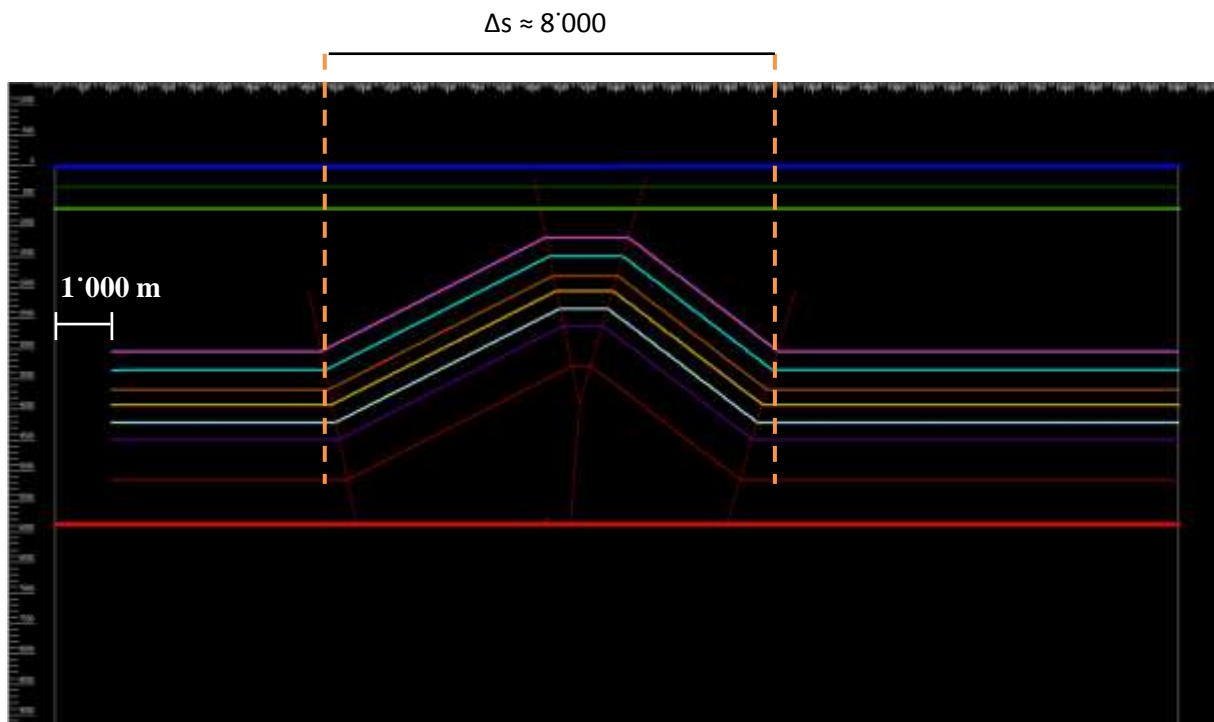
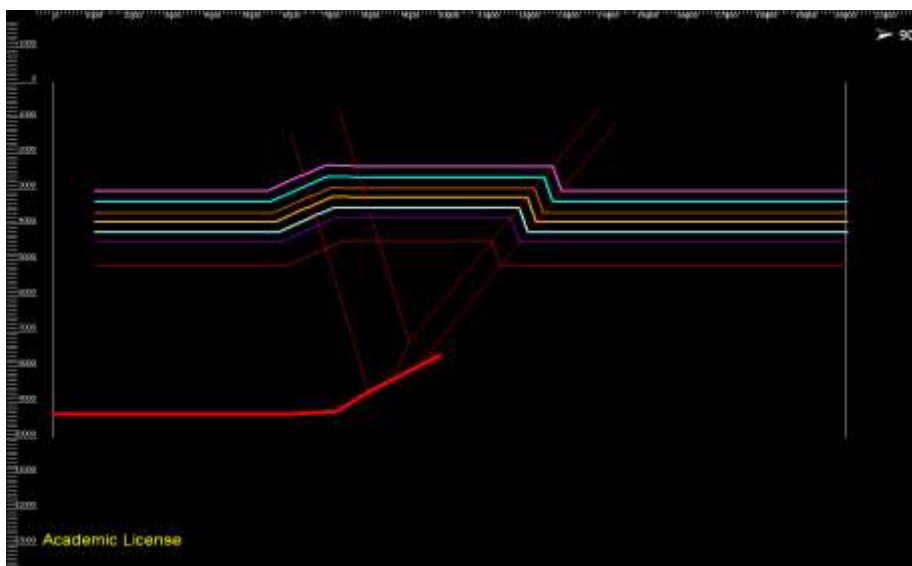


Figura 4.48: Risultato finale ottenuto con l'algoritmo di Detachment Fold dopo la deposizione delle Formazioni Ragusa, Tellerò, Gessoso Solfifera e dei sedimenti più recenti plio-pleistocenici.

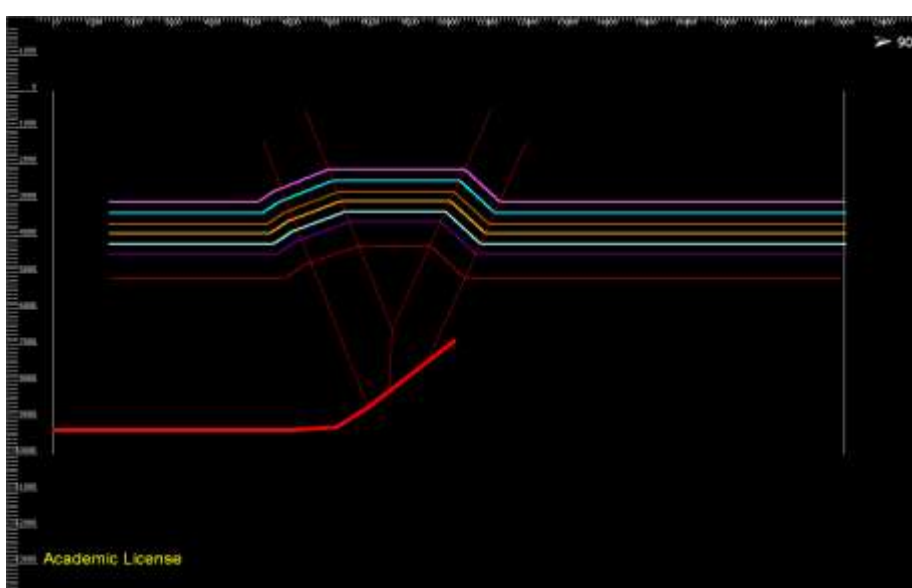
I parametri inseriti per l'algoritmo di Fault Propagation Fold sono:

- Displacement = 2'000;
- Numero di step = 1;
- Numero di campioni = 500;
- Propagation Apex = Right;
- Inclinazione Apex = -36.90°;
- Constant Thickness.
- Pin Position → non si è scelto un valore in particolare, ma si è cercato di posizionare l'anticlinale al centro del modello.

Una volta trovati i valori necessari per riprodurre l'anticlinale asimmetrica visibile sulla sezione sismica C – 541 (shot 620 – 710) con il metodo del Fault Propagation Fold, si è scelto di fare alcuni tentativi modificando un parametro per volta all'interno nella finestra di dialogo Movement. All'inizio si è deciso di variare l'angolo relativo all'apice della struttura compressiva, mantenendo costanti tutti gli altri parametri, ponendo la superficie di thrust alla profondità di 9'500 metri.



4.49 A



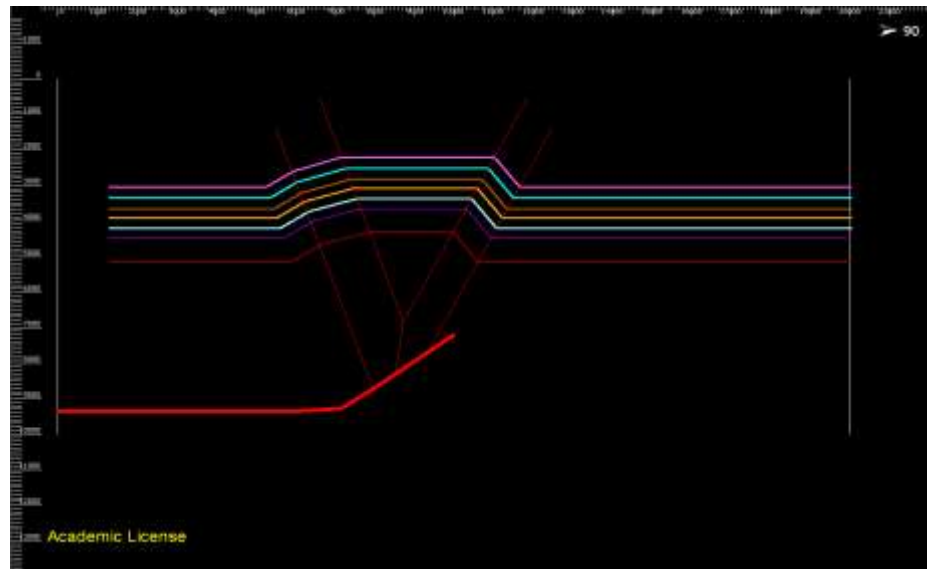
4.49 B

Figura 4.49: Mantenendo costante la profondità a cui è posizionata la superficie di thrust (9'500 metri) si è fatto variare l'angolo di inclinazione dell'apice tra - 30° (4.49 A) e - 40° (4.49 B)

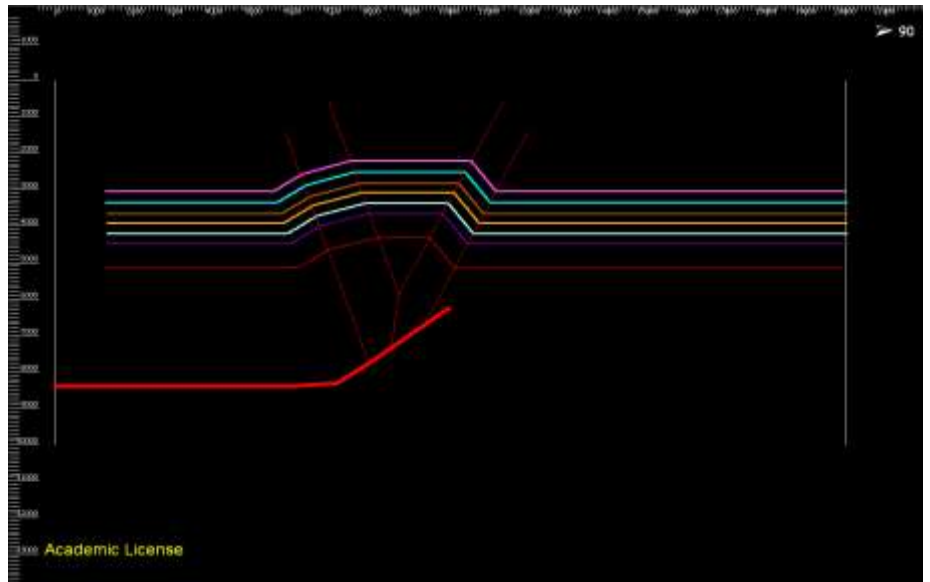
In Figura 4.49 (A e B) sono visibili i cambiamenti relativi all'angolo che forma l'apice dell'anticlinale rispetto alla sua verticale. Si può notare che, diminuendo l'angolo (- 30°), la struttura si appiattisce e i due fianchi si raccorciano (quello sinistro diventa leggermente più lungo e meno inclinato di quello destro) e sono collegati da una porzione sommitale ampia e piatta (Figura 4.49 A). Nel secondo caso, Figura 4.49 B, con un valore di - 40 °, si verifica il raccorciamento dell'anticlinale la quale, pur mantenendo le medesime caratteristiche, è ampia all'incirca di 6'500 metri.

Nelle figure seguenti si è scelto di traslare la superficie di thrust a profondità di 9'500, 8'500 ed infine 7'500 metri scegliendo prima un valore di displacement pari a 1'000 metri (Figure 4.50 A - C) e poi un valore di 2'000 metri (Figure 4.51 A - C).

4.50 A



4.50 B



4.50 C

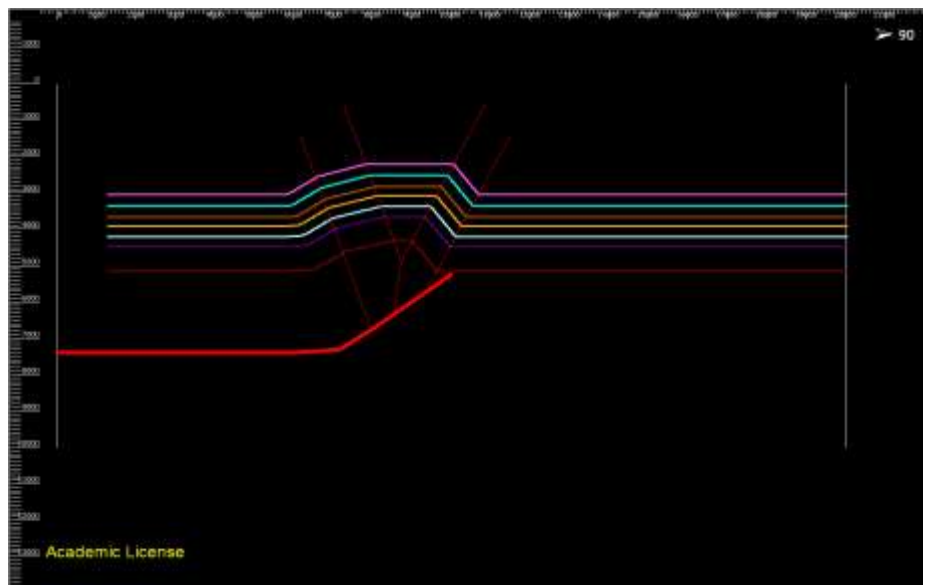
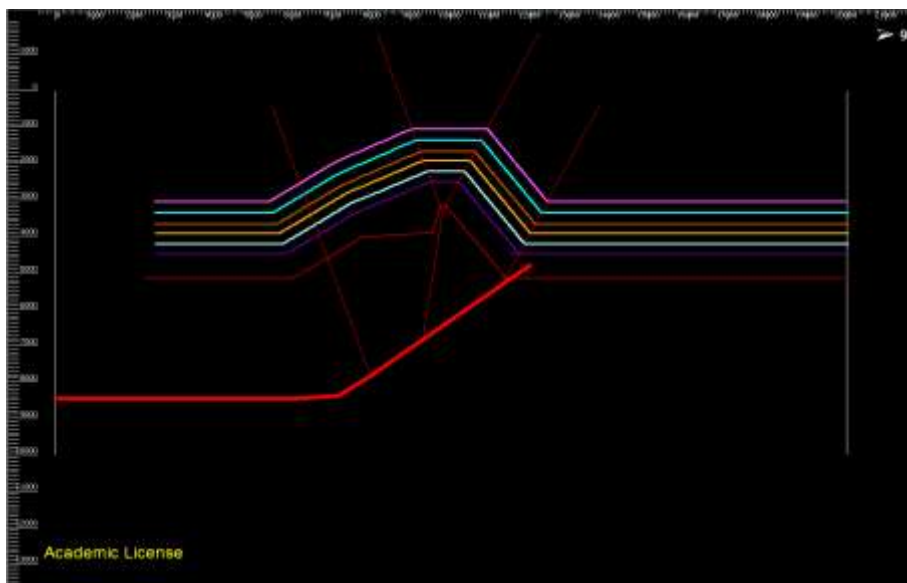


Figura 4.50: Ponendo un Displacement pari a 1'000 metri si sposta la superficie di thrust da 9'500 (4.50 A), a 8'500 (4.50 B) fino a 7'500 (4.50 C) metri

Nelle Figure 4.50 A - C, dove il Displacement è uguale a 1'000 metri, si osserva che man mano che il thrust viene spostato a profondità minori, il modello diventa sempre più simile ad un'anticlinale come quella visibile nelle sezioni sismiche dell'area di studio; di pari passo, però, a profondità via via minori, si verifica un raccorciamento della struttura compressiva. Quando la superficie di thrust è posta ad una profondità di 8'500 metri (Figura 4.50 B) si genera un'anticlinale ampia all'incirca 7'000 metri costituita da un fianco lungo e poco inclinato a sinistra ed uno corto e più inclinato a destra separati da un tetto lungo e piatto; riducendo ulteriormente la profondità (7'500 metri) diminuisce la lunghezza d'onda della struttura compressiva fino ad un minimo di 5'000 metri.



4.51 A



4.51 B

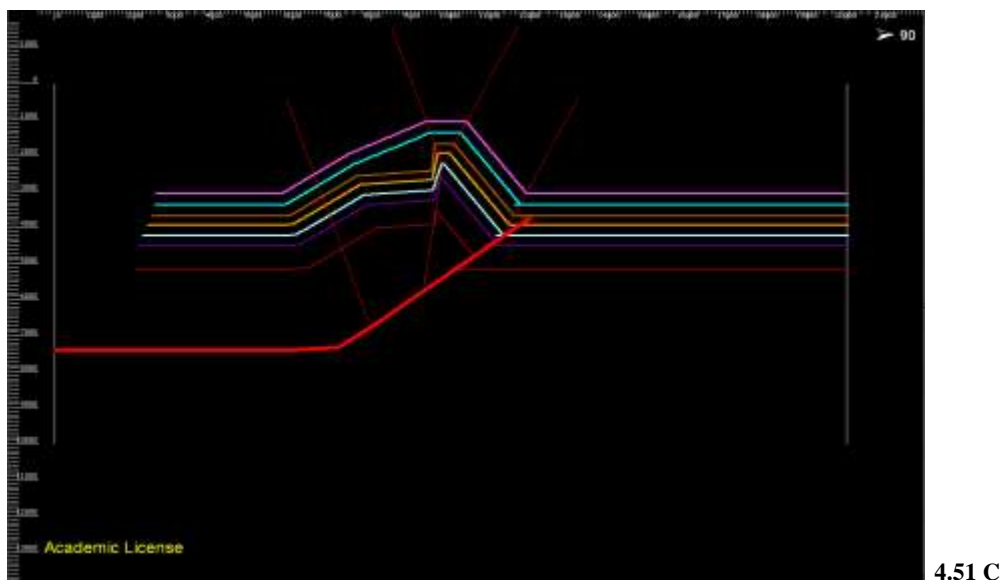


Figura 4.51: Ponendo un Displacement pari a 2'000 metri si sposta la superficie di thrust da 9'500 (4.51 A), a 8'500 (4.51 B) fino a 7'500 (4.51 C) metri

Nelle Figure 4.51 A - C si osserva la traslazione della superficie di thrust a profondità via via minori mantenendo il valore di Displacement pari a 2'000 metri. In queste immagini si nota che tanto più la superficie di thrust è posta a profondità minori e tanto più diventa difficile ottenere un'anticlinale asimmetrica. Alla profondità di 8'500 metri (Figura 4.51 B) il riflettore più profondo (colore rosso - marrone) non genera un'anticlinale asimmetrica come i soprastanti orizzonti, ma ha un andamento irregolare. Nella Figura 4.51 C la superficie di thrust è posta a profondità minori (7'500 metri) ed in essa si osserva che solo i due riflettori geometricamente più alti formano un'anticlinale asimmetrica. Gli orizzonti più in profondità sono costituiti da un fianco destro inclinato all'incirca 35° e uno sinistro, non più riconoscibile, suddiviso in tanti segmenti la cui inclinazione varia da 0° fino a $89 - 90^\circ$.

Il risultato migliore ottenuto con l'algoritmo di Fault Propagation Fold è quello visibile in Figura 4.52 nella quale la superficie di thrust è posta alla profondità di 9'500 metri.

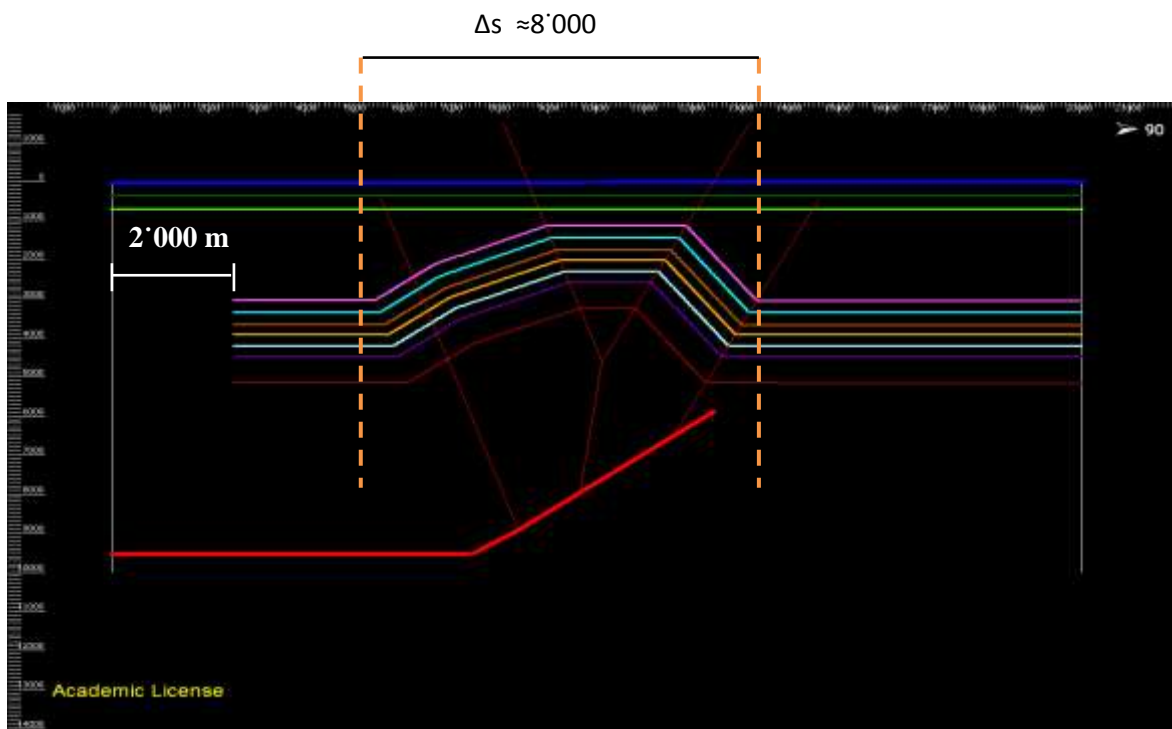


Figura 4.52: Miglior risultato ottenuto dall'algoritmo di Fault Propagation Fold andando a settare un Displacement di 2'000 m e posizionando la superficie di thrust a 9'500 m di profondità.

5. Conclusioni

Verranno ora presentate, tramite una serie di punti, le conclusioni a cui si è giunti alla fine di questo lavoro di tesi riportando, dove necessario, sia i dati bibliografici sia quelli ricavati dalla fase interpretativa. Gli argomenti trattati qui di seguito riguardano: i corpi vulcanici, la Formazione Siracusa, la distribuzione areale delle clinoformi, le caratteristiche relative alla faglia normale ed infine i due modelli ottenuti dall'utilizzo del software Move.

- Corpi vulcanici

Nel lavoro di Patacca et al. (1979), sulla base delle informazioni provenienti dall'analisi dei cuttings e dalla reinterpretazione dei logs elettrici, è definita una nuova nomenclatura per descrivere le formazioni geologiche di sottosuolo riconosciute nell'onshore di Ragusa. Gli stessi nomi sono utilizzati dai geologi di pozzo per definire le successioni sedimentarie attraversate dai pozzi petroliferi nell'offshore ragusano. Sulla base dei dati stratigrafici forniti dal lavoro di Patacca et al. (1979) si evince che nel sottosuolo della Sicilia meridionale (settore offshore), all'interno della Fm Amerillo e nella Fm Buccheri si trovano corpi vulcanici, sia come locali intercalazioni all'interno della sequenza sedimentaria (vulcanoclastiti) sia come veri e propri edifici vulcanici (vulcaniti). All'interno della sequenza sedimentaria bacinale di età mesozoica, Patacca et al. (1979), hanno riconosciuto due corpi vulcanici chiamati membro di Scicli (all'interno della Fm Buccheri) e membro di Capo Passero (nella Fm Amerillo).

L'attività di interpretazione ha permesso di riconoscere un'intensa attività vulcanica localizzata nei settori settentrionali, orientali e sud-orientali dell'area di studio (offshore della Sicilia meridionale) all'interno di tutte le formazioni geologiche ad eccezione dei depositi plio – pleistocenici, della Fm Gessoso Solfifera e della Fm Tellaro. Nella Fm Ragusa, solo nella porzione inferiore della sequenza, si hanno tracce di un'attività vulcanica sia come vulcanoclastiti sia come vulcaniti.

Dove la risoluzione lo consente si è scelto di distinguere le vulcaniti dalle vulcanoclastiti sulla base della sismofacies; nei restanti casi, dove la risoluzione sismica non lo consente, si è scelto di distinguere la facies riflettiva da quella sorda/caotica appartenente all'edificio vulcanico. Questo tipo di differenziazione è sempre possibile all'interno della Fm Amerillo dove la qualità della sezione sismica è buona (riflettori continui lateralmente e con elevati valori di ampiezza), man mano che si va in profondità, al di sotto del tetto della Fm Hybla,

questa distinzione viene meno ed è riconoscibile solo in alcuni casi perché i riflettori sono sempre più discontinui e con ampiezza variabile.

Dopo aver effettuato l'interpretazione delle linee sismiche ed aver riconosciuto gli edifici vulcanici si è scelto di realizzare tre elaborati al fine di rappresentare la distribuzione areale di tali corpi nel seguente modo:

- La prima si riferisce agli apparati vulcanici presenti all'interno della Fm Streppenosa e, probabilmente, anche nelle formazioni geologiche più vecchie (Fm Gela, Fm Naftia e Fm Noto). Di queste ultime non si hanno informazioni dato che nessuno dei pozzi presenti nell'area di studio ha mai raggiunto la base della Fm Streppenosa.
- La seconda riguarda gli edifici vulcanici contenuti tra il tetto della Fm Streppenosa e il limite superiore della Fm Hybla all'interno delle Formazioni Hybla, Chiaramonte, Buccheri e Modica.
- La terza rappresenta gli edifici vulcanici più superficiali localizzati quasi ed esclusivamente all'interno della Fm Amerillo e nella porzione inferiore della Fm Ragusa.

Andando a sovrapporre, una alla volta, le tre carte di base è possibile descrivere l'evoluzione dell'attività vulcanica nell'area. Partendo dalla carta di base più profonda, quella relativa ai corpi vulcanici all'interno della Fm Streppenosa e nelle formazioni più vecchie, si possono distinguere tre edifici vulcanici: i primi due, di forma subcircolare, sono di piccole dimensioni e localizzati nella porzione settentrionale dell'area; l'ultimo, quello più grande, interessa tutto il settore nord-orientale dell'area di indagine e, quasi sicuramente, si allarga anche al di fuori. Data la distribuzione areale di questo apparato vulcanico e la sua posizione al bordo dell'area di studio non è possibile definirne la forma verso Nord e verso Est. A parte queste tre manifestazioni vulcaniche, il resto dell'area non è interessato da attività vulcanica fino al Sinemuriano s.str.

L'elaborato intermedio descrive la distribuzione areale dei corpi vulcanici la cui messa in posto è compresa tra il Sinemuriano s. str. e l'Hauteriviano superiore ovvero tra la deposizione del limite superiore della Fm Streppenosa e il tetto della Fm Hybla. In questo elaborato è possibile notare la presenza di quattro colori diversi utilizzati per meglio definire all'interno di quali formazioni geologiche si trovino i corpi vulcanici riconosciuti nell'area. Osservando la seconda delle carte di base si vede che l'attività vulcanica è concentrata nei settori settentrionali ed orientali, ma si estende anche nelle zone sud-orientali e nord-occidentali dell'area di studio. L'elevato numero di corpi vulcanici e le loro dimensioni indicano la presenza di un'intensa attività vulcanica responsabile sia della formazione di

piccoli edifici sia di quelli più grandi. Le forme di questi corpi variano da subcircolare ad ovale. In quest'ultimo caso è possibile notare due direzioni preferenziali rispetto alle quali sono allungati gli edifici vulcanici: NNE – SSW per i corpi vulcanici localizzati nei settori orientali e nord-orientali e NW – SE per quelli posti nei settori settentrionali e nord-occidentali. A NE, nella stessa posizione in cui è riconoscibile l'enorme corpo vulcanico nella carta di base sottostante, si trova un altro apparato vulcanico. Anche in questo caso come per il precedente non è possibile definire la forma del corpo vulcanico data la sua posizione al bordo dell'area di studio.

Le informazioni raccolte testimoniano un'intensificazione dell'attività vulcanica ed una migrazione dell'attività vulcanica verso le porzioni meridionali e nord-occidentali.

Un'ultima caratteristica riconoscibile in questa carta di base è legata alla presenza di piccoli corpi vulcanici disposti al centro dell'area di studio sia all'interno della Fm Hybla sia nella Fm Chiaramonte.

Data la buona risoluzione della porzione superiore delle sezioni sismiche, nelle formazioni più recenti, è possibile distinguere grazie alle sismofacies, le vulcaniti dalle vulcanoclastiti.

L'ultima carta di base riporta i corpi vulcanici più superficiali la cui età di messa in posto è compresa tra l'Albiano p.p. e l'Eocene. Essi sono riconosciuti solo all'interno della Fm Amerillo e nella porzione inferiore della Fm Ragusa. Nell'elaborato di Figura 4.20 è riconoscibile un unico grande apparato vulcanico al cui interno si distinguono due edifici più piccoli. Questi ultimi, di cui non è possibile definire la forma, sono localizzati al bordo settentrionale dell'area ed hanno direzione N 55 quello settentrionale e N 155 quello orientale. In questa carta di base oltre alle vulcaniti si possono distinguere, sia verso Sud sia verso Nord Ovest, le vulcanoclastiti.

Confrontando i corpi vulcanici individuati nella Fm Amerillo e nella Fm Ragusa con quelli trovati nelle sottostanti formazioni è possibile notare una riduzione nel numero di edifici vulcanici e nella loro estensione areale. L'edificio vulcanico localizzato nella porzione nord-orientale, sulle linee C – 574 e C – 576 e sulle sezioni sismiche ad esse perpendicolari, giace al di sopra degli altri corpi vulcanici riconosciuti nelle due carte di base più profonde.

Verso S, nella porzione meridionale dell'area, sulle linee sismiche C - 533 e C - 582, è stato riconosciuto un altro apparato vulcanico allungato in direzione NNE – SSW al cui interno ci sono sia di vulcaniti sia di vulcanoclastiti.

Per i sedimenti plio – pleistocenici, depositi al di sopra del limite superiore della Fm Gessoso Solfifera, non si è realizzata nessuna carta in quanto in essi non si sono né le vulcaniti né le vulcanoclastiti.

Osservando insieme le tre carte di base relative alla distribuzione areale dell'attività tettonica (Figure 4.16, 4.20 e 4.25), si nota che la maggior parte dei corpi vulcanici sono localizzati nei settori settentrionali, orientali e sud-orientali dell'area di studio mentre rari e piccoli edifici vulcanici sono riconoscibili nella porzione centrale (Fm Chiaramonte e Fm Hybla) e in quella nord-occidentale (Fm Amerillo). Andando a sovrapporre le tre carte di base si può inoltre notare che nel settore nord-orientale dell'area di indagine, sulle linee sismiche C – 574 e C – 576, perpendicolari alla linea di costa, e sulle sezioni che le intersecano sono presenti tre edifici vulcanici sovrapposti. Questi corpi, di cui non è mai possibile definire la forma, hanno direzione N 150 – N 155 ed attraversano l'intera successione bacinale mesozoica dalla Fm Streppenosa fino alla Fm Amerillo. Questi enormi corpi vulcanici consentono di affermare il perdurare di un'intensa attività vulcanica per un lungo periodo di tempo. Con questo non si vuole affermare che il vulcanismo è continuato senza nessuna interruzione, ma che si sono alternati periodi di attività vulcanica e momenti di quiescenza. Verso NE, i limiti superiori delle formazioni geologiche si interrompono in corrispondenza di facies caotiche.

In questo settore, inoltre, non sono presenti pozzi, per cui i dati stratigrafici relativi a questa zona sono molto scarsi. Il pozzo più vicino a questi edifici vulcanici è il pozzo Polpo 1 il quale dista dalla linea sismica C – 568 5.20 km come visibile in Figura 4.16. Al suo interno, le informazioni stratigrafiche permettono di ricostruire l'intera sequenza sedimentaria mesozoica e solo verso la fine del pozzo, all'interno della Fm Streppenosa, sono attraversate le rocce vulcaniche come mostrato dai cuttings.

La situazione appena descritta, presente nella porzione nord-orientale dell'area, non è documentata in nessun altro lavoro bibliografico.

- Formazione Siracusa

La fase di taratura delle linee sismiche per mezzo dei dati stratigrafici contenuti nei pozzi ha permesso di riconoscere, all'interno della successione bacinale mesozoica, una formazione la cui sedimentazione è tipica di un ambiente di piattaforma. Questa sequenza, costituita esclusivamente da calcari, è localizzata tra i sottostanti depositi torbiditici della Fm Streppenosa e i soprastanti calcari marnosi e marne della Fm Buccheri.

Sulla base delle informazioni bibliografiche si è a conoscenza che la presenza di questi depositi di piattaforma furono riconosciuti anche da Ronchi et al. (2000) il quale li interpretò come dovuti ad una fase di progradazione di un ambiente di piattaforma su facies bacinali, in seguito la deposizione della Fm Streppenosa.

È necessario ricordare che la sedimentazione carbonatica di mare basso avviene solo nella zona fotica ovvero nella colonna d'acqua compresa tra il livello del mare e una profondità di 200 metri. Se è vero quello che Ronchi et al. (2000) affermano nel proprio lavoro, si sarebbe dovuto verificare un improvviso sollevamento del fondo del mare (ad una profondità tra 0 e 200 metri) e la deformazione dell'intera area, oppure potrebbe essersi verificata la colmatazione del bacino con i sedimenti della Fm Streppenosa. L'interpretazione delle linee sismiche ha permesso di escludere solo la prima di queste due ipotesi in quanto le prime fasi compressive hanno agito dopo la deposizione della Fm Modica senza coinvolgere in alcun modo il settore sud-occidentale, mentre per la seconda ipotesi non ci sono dati sufficienti per dimostrarne il contrario.

Una seconda ipotesi per spiegare la presenza di questi depositi nell'offshore di Ragusa può essere quella di ricercare un legame tra l'intensa attività vulcanica e la messa in posto della Fm Siracusa. L'attività di interpretazione delle linee sismiche ha permesso di realizzare tre elaborati nei quali è riportata la distribuzione areale di tutti i corpi vulcanici riconosciuti. Andando a sovrapporre queste tre carte di base con quella relativa alla distribuzione areale della Fm Siracusa si può osservare che non esiste alcun legame tra la messa in posto degli edifici vulcanici e i depositi di questa formazione. In nessuna sezione sismica è possibile comprendere i rapporti tra i corpi vulcanici e la Fm Siracusa in quanto questi corpi sono localizzati agli estremi opposti della sezione. Sulla linea sismica C – 560 (shot 135 – 157) e C -594 (shot 115 – 100), al di sopra della porzione settentrionale della Fm Siracusa, sono riconoscibili facies caotiche interpretabili sia come *slumps* sia come vulcanosedimenti. Se si trattasse veramente di questi ultimi, si potrebbe affermare che l'attività vulcanica, almeno in questa zona, è successiva la messa in posto dei calcari di piattaforma in quanto le facies caotiche si trovano tutte al di sopra della porzione settentrionale della Fm Siracusa; se invece fossero *slumps* potrebbero essere visti come movimenti gravitativi di assestamento al di sopra del corpo franato.

La terza ed ultima ipotesi riguarda la messa in posto dei depositi della Fm Siracusa per mezzo di uno slide. In questo caso non si tratterebbe di una formazione in posto, ma di un corpo proveniente da una zona rilevata (una piattaforma) localizzata a SW al di fuori dell'area di indagine.

Sulla base delle informazioni a disposizione (facies sismiche, morfologia di questo corpo, distribuzione areale e andamento delle curve di logs) è possibile affermare che si tratta di un unico corpo di risedimenti la cui messa in posto è dovuta ad uno scivolamento sottomarino. All'interno di questo corpo si riconoscono due sismofacies: la prima consiste in una facies sismica riflettiva con orizzonti piano paralleli con elevata ampiezza e bassa continuità laterale

mentre la seconda è una facies caotica costituita da orizzonti disposti in modo del tutto casuale. Osservando sia i profili perpendicolari alla linea di costa sia quelli paralleli si nota che lo spessore di tale formazione aumenta procedendo da NE verso SW e il suo limite superiore ha una morfologia articolata in alti e bassi morfologici.

Terminato il riconoscimento delle facies sismiche si è scelto di riportare su una carta di base la distribuzione areale della Fm Siracusa. Questo corpo, limitato ai soli settori sud-occidentali dell'area, mostra una forma arcuata con i bordi che si chiudono sia verso Sud sia verso Ovest. Le ultime informazioni a disposizione riguardano i dati stratigrafici e le curve di logs contenute nei pozzi Merluzzo Mare 1 e Vega 1. Mentre il primo dei due pozzi attraversa la Fm Siracusa per 454 metri il secondo percorre l'intera sequenza per un totale di 1'618 metri dal suo top alla sua base. Date le litologie, calcari di piattaforma, ci si aspetta bassissimi valori di gamma ray (e così è) e altissimi valori di resistività e velocità. In realtà quello che si vede nelle ultime due curve dei logs è che il loro andamento cambia con estrema facilità passando, in modo continuo, da valori molto alti (deflessioni verso destra) a quelli molto bassi (deflessioni verso sinistra). Queste repentine variazioni potrebbero indicare un elevato stato di fratturazione di questi depositi (calcari di piattaforma) attraversati dai pozzi che potrebbero essere interpretati come risedimenti.

Di tutte le ipotesi avanzate sulla base dei dati riportati, è possibile affermare che la terza è la più valida per spiegare la genesi di questi depositi.

- Clinoformi

Al di sopra del limite superiore della Fm Gessoso Solfifera si trovano i depositi più giovani di età Pliocene – Quaternario. All'interno di questi sedimenti, soprattutto nei settori sud-occidentali dell'area, sono riconoscibili le clinoformi. Interpretando le linee sismiche C – 533 e C – 535, parallele alla linea di costa, e le sezioni sismiche dalla C – 596 alla C – 590, perpendicolari, è possibile individuare le clinoformi. Su questi ultimi profili, come visibile in pianta dall'andamento del grid relativo al tetto della Fm Gessoso Solfifera, si riconosce una zona pianeggiante nei settori centrali e orientali dell'area ed una depressa a SW. Al di sopra di tale superficie, in corrispondenza del basso morfologico, si riconoscono due famiglie di clinoformi.

Il bottomset di tutte le clinoformi della prima famiglia non poggia direttamente sul limite superiore della Fm Gessoso Solfifera, ma su una sismofacies trasparente il cui spessore è massimo al centro della depressione e minimo ai bordi.

Per definire dove è posta la zona di alimentazione delle clinoformi è necessario interpretare sia i profili sismici paralleli alla linea di costa sia quelli perpendicolari. Se questa zona si trovasse a SE dovrei vedere bene le clinoformi sui profili orientati NW – SE, mentre su quelli perpendicolari dovrei avere riflettori orizzontali tra loro paralleli e non i topset, i foreset e i bottomset. Il medesimo problema si presenta sui profili orientati NE – SW nel caso in cui l'area di alimentazione sia posta a NE. Nel caso in questione la situazione è leggermente diversa dato che sia sulle sezioni perpendicolari sia su quelle parallele alla linea di costa sono riconoscibili due famiglie di clinoformi. Per questo motivo la conclusione a cui si è giunti è che l'area di alimentazione di queste strutture sedimentarie si trovi a NNE in una zona rilevata, posta al di fuori dell'area di indagine.

È inoltre da notare che nessuno dei 16 pozzi è localizzato nel settore sud-occidentale dell'area per cui non è possibile datare l'età di queste clinoformi. Tutti i pozzi perforano la successione sedimentaria nei punti in cui il tetto della Fm Gessoso Solfifera è più vicino alla superficie del fondo del mare dove sono presenti pochi riflettori orizzontali facenti parte dei depositi plio-pleistocenici.

- Superficie di faglia

In questo lavoro si è volutamente scelto di considerare una sola superficie di faglia in grado di produrre un rigetto elevato e facilmente visibile sui profili sismici. Le altre faglie, la cui dislocazione è minima, si è deciso di non tracciarle.

L'attività di interpretazione ha permesso di riconoscere, e tracciare sui profili sismici, una superficie di faglia normale a direzione N 40; quest'ultima, ribassa la porzione nord-occidentale dell'area rispetto a quello sud-orientale.

Durante la fase interpretativa, così come per i corpi vulcanici e per la Fm Siracusa, si è deciso di realizzare un elaborato nel quale si è deciso di riportare l'andamento della superficie di faglia. Osservando l'andamento della faglia normale in pianta, si nota che il suo andamento non è rettilineo, ma irregolare tanto che essa attraversa due volte la sezione sismica C – 594. Sulla carta di base si vede che la superficie di faglia si interrompe prima di raggiungere la linea sismica C – 535, verso Sud; verso Nord, invece, è possibile tracciare questo lineamento fino alla linea di costa fino nei pressi dell'abitato di Cava d'Aliga (Figura 4.34).

Il lavoro di Grasso del 1999, basato essenzialmente sullo studio dei dati batimetrici al largo di Cava d'Aliga (Rg), non ha permesso il riconoscimento e il tracciamento verso Sud della Scicli Line nell'offshore ragusano. In questo lavoro di tesi, grazie all'interpretazione dei profili

sismici a riflessione, si è riconosciuta una faglia normale estesa dall'abitato di Cava d'Aliga fino alla linea sismica C-533 la quale potrebbe esser correlata alla Scicli Line.

- Risultati Move

Effettuata l'interpretazione delle linee sismiche contenute nel progetto CR 148, si è scelto di selezionare una delle sezione sismiche a disposizione e su di essa si è voluto effettuare il processo di *time – depth conversion*, ovvero il processo tramite il quale si converte la scala verticale della linea sismica da secondi a metri. Tra tutti i profili sismici a disposizione si è deciso di adoperare prima l'intera sezione sismica C – 541, parallela alla linea di costa della Sicilia, in seguito una porzione della medesima linea (tra gli shot 620 e 710) sulla quale si riconosce una struttura ad anticlinale con fianchi asimmetrici.

Nell'elaborato relativo ai piani assiali è possibile notare una corrispondenza tra le pieghe riconosciute nell'area e l'anticlinale asimmetrica, visibile sulla sezione sismica C – 541 (shot 620 – 710). Alla fine del processo di conversione tempo – spazio, sul profilo sismico, l'anticlinale mostra le seguenti caratteristiche:

- un fianco nord-occidentale lungo e poco inclinato (circa 25°);
- un fianco sud-orientale corto e più inclinato (circa 35°);

La struttura considerata si estende all'incirca 800 metri; questo valore è ottenuto misurando tra i due punti di flesso del sistema anticlinale – sinclinale.

Oltre alla *time – depth conversion*, un'altra delle potenzialità di Move è il *forward modelling*; questo processo, per mezzo di diversi algoritmi, consente di creare uno o più modelli per mezzo dei quali si desidera riprodurre una delle quattro anticlinali osservate sui profili sismici paralleli alla linea di costa. Per poter modellizzare la struttura compressiva visibile sulla sezione sismica C – 541, tra gli shot 620 e 710, si è scelto di partire da un modello a strati orizzontali posti a differente distanza l'uno dall'altro, chiamato *cake layer*. In tale modello ognuno degli orizzonti corrisponde al tetto di una delle formazioni geologiche presenti nell'area e riconosciute durante la fase di taratura delle linee sismiche.

In questo lavoro di tesi, con il modello di partenza appena creato, si desidera realizzare un'anticlinale asimmetrica con le caratteristiche definite in precedenza.

Prima di agire con il processo del *forward modelling* è necessario capire qual è il meccanismo deformativo che può aver generato tale deformazione e quale/i degli algoritmi presenti nel programma Move permette di riprodurre la situazione reale nel miglior modo. Tra tutti i

meccanismi deformativi si è visto che due di essi (Detachment Fold e Fault Propagation Fold) potrebbero dare un risultato simile a quello visibile nel profilo sismico C – 541.

Utilizzando il modello chiamato *cake layer* si è deciso di adoperare prima l'algoritmo di Detachment Fold e poi quello di Propagation Fold al fine di trovare, per ognuno dei due casi, i parametri migliori in grado di rappresentare la situazione reale.

Nel capitolo relativo all'evoluzione stratigrafica e strutturale dell'area sono stati descritti due eventi deformativi, i quali hanno interessato porzioni diverse dell'area di studio in intervalli temporali differenti. L'anticlinale che si è scelto di rappresentare per mezzo di questa modellizzazione è generata dal secondo evento deformativo e si è originata nella porzione centrale dell'area (numero 2 di Figura 4.29), in un intervallo di tempo compreso tra il Maastrichtiano e il Paleocene – Eocene. Le formazioni geologiche coinvolte in questo tipo di deformazione sono quelle comprese tra la Fm Streppenosa e la porzione inferiore della Fm Ragusa. Al di sopra di tutto, terminata la fase compressiva, si depone la porzione intermedia e superiore della Fm Ragusa, la Fm Tellaro e la Fm Gessoso Solfifera. Nel capitolo relativo all'evoluzione tettonica dell'area è descritta un'attività deformativa contemporanea la sedimentazione riconoscibile nella porzione inferiore della Fm Ragusa; dato che nel modello di partenza (*cake layer*) si è scelto di rappresentare solo i riflettori relativi al limite superiore delle formazioni geologiche, non è possibile modellizzare la deformazione che ha interessato la porzione inferiore della Fm Ragusa.

Per il funzionamento di ognuno dei due algoritmi, il programma Move richiede all'utente di inserire una superficie di faglia, lungo la quale far avvenire il movimento, e i valori relativi ad ogni parametro. Osservando il modello realizzato con l'algoritmo del Detachment Fold e quello tramite l'algoritmo di Fault Propagation Fold si può notare che la superficie di thrust, oltre ad avere caratteristiche geometriche differenti, è posta a profondità diverse: nel primo caso essa è posta a circa 6'000/6'100 metri di profondità mentre nel secondo si trova a circa 9'500 metri. Oltre a questa prima differenza legata al posizionamento della superficie di thrust si è visto che i due algoritmi, al fine di generare un risultato simile, devono avere valori differenti di Displacement; nel caso del Detachment Fold il valore scelto è pari a 1'000 metri mentre con l'algoritmo di Fault Propagation Fold il Displacement il valore è il doppio (2'000 metri).

Per mezzo dei modelli realizzati con il *forward modelling* è possibile affermare che entrambi gli algoritmi utilizzati sul software Move sono in grado di riprodurre un modello simile in grado di riprodurre l'anticlinale asimmetrica visibile sulla linea sismica C - 541. Sulla base delle sole informazioni provenienti dall'analisi delle linee sismiche, non è possibile affermare quale dei due meccanismi di deformazione sia il più adatto per descrivere l'attività

compressiva che ha interessato l'area tra il Maastrichtiano e il Paleocene – Eocene. Per capire quale dei due processi deformativi ha agito si possono analizzare le linee sismiche parallele alla sezione sismica C – 541 e vedere se su di esse si riconosce almeno una caratteristica che permetta di escludere, a priori, uno dei due meccanismi deformativi. Sulle sezioni sismiche C – 533 e C – 531, e sulle linee sismiche parallele alla C – 541, si nota la medesima anticlinale asimmetrica con le stesse caratteristiche. Per questo motivo, né con la sezione sismica C – 541 (shot 620 – 710) e nemmeno con le altre a disposizione, non è possibile definire quale dei due meccanismi deformativi abbia agito e nemmeno a quale profondità si trovi la superficie di thrust.

Per poter descrivere la completa evoluzione tettonica dell'area, e l'attività compressiva, è necessario, partendo dalla linea sismica C – 541 (shot 620 – 710) e dai poligoni in essa creati, svolgere un processo di retrodeformazione e bilanciamento strutturale. Nel seguente modo, dopo un processo *trial and error*, si possono trovare i valori corretti relativi ad ognuno dei parametri richiesti dall'algoritmo e la profondità a cui si trova la superficie di thrust.

6. Bibliografia

- Antonelli, M., Franciosi, R., Pezzi, G., Querci, A., Ronco, G.P., Vezzani F., 1988. *Paleogeographic evolution and structural setting of the northern side of the Sicily Channel*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 141 -157, 5 ff., 3 tavv.
- Boccaletti, M., Cello, G., Tortorici, L., 1987. *Transtensional tectonics in the Sicily Channel*. J. Struct. Geol. 9, 869 – 876
- Bousquet, J.C., Lanzafame, G., 2004. *Compression and Quaternary tectonic inversion on the Northern edge of the Hyblean Mountains, foreland of the Appenine – Maghrebian chain in the Eastern Sicily (Italy): geodynamic implications for Mt. Etna*. GeoActa 3, 165 – 177.
- Catalano, S., De Guidi, G., Lanzafame, G., Monaco, C., Torrisi, S., Sturiale, G., Tortorici, G., Tortorici, L., 2006. *Inversione tettonica positiva tardo – quaternaria nel Plateau Ibleo (Sicilia SE)*. Rend. Soc. Geol. It. 2 Nuova Serie, 118 – 120 ff.
- Catalano, S., De Guidi, G., Romagnoli, G., Torrisi, S., Tortorici, G., Tortorici, L., 2008. *The migration of plate boundaries in SE Sicily: Influence on the large – scale kinematic model of the African promontori in southern Italy*. Tectonophysics 449, 41 – 62.
- Frixa, A., Bertamoni, M., Catrullo, D., Trincianti, E., Miuccio, G., 2000. *Late Norian – Hettangian paleogeography in the area between wells Noto 1 and Polpo 1 (S – E Sicily)*. Mem. Soc. Geol. It., 55, 279 – 284, 6 ff.
- Grasso, M., 1999. *Carta geologica del settore centro – meridionale dell’Altopiano Ibleo (Pr. Ragusa, Sicilia sud - orientale)*. Scala 1:50000. S. EL. CA., Firenze.
- Grasso, M., Reuther, C.D., 1988. *The western margin of the Hyblean Plateau: a neotectonic transform system on the SE Sicilian foreland*. Ann. Tecton. 2 (2), 107 – 120.
- McClay K.R., 1992. *Glossary of thrust tectonics terms*. Thrust tectonics, 419 – 433.
- Reuther, C.D., 1990. *Strike – slip generated rifting and recent tectonic stresses on the African foreland (Central Mediterranean region)*. Ann. Tecton. 4 (2), 120 – 130.
- Reuther, C.D., Eisbacher, G.H., 1985. *Pantelleria rift – crustal extension in a convergent intraplate setting*. Geol. Rundsch. 74, 585 – 597.
- Ronchi, P., Lottarioli, F., Ricchiuto, T., 2000. *Sedimentary and Diagenetic Aspects of the Liassic Inici Fm and its Stratigraphic Context (Sicily Channel, Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., 55, 261 – 269, 10 ff., 2 plates n.t.
- Ronco, G.P., Palombi, E., Fossaluzza, S., 1990. *The Vega oil field. A stratigraphic structural trap in the Iblean Plateau*. Mem. Soc. Geol. It, 45. 777 – 782, 6 ff.

Patacca, E., Scandone, P., Giunta, G., Liguori, V., 1979. *Mesozoic paleotectonic evolution of the Ragusa Zone (southeastern Sicily)*. *Geologica Rom.*, 18, 331 – 369, 67 fig., 1 tab., 5 tav. f.t., Roma.

www.videpi.com

www.maps.google.it

Appendice: Funzionamento dei programmi

Software Kingdom 8.2

L'obiettivo di questa appendice è quello di spiegare le modalità di funzionamento dei due software utilizzato in questo lavoro di tesi: Kingdom 8.2 e Move. Il primo consente di riportare i riflettori tracciati sulle linee sismiche cartacee a quelli in formato SegY, di creare gridding e di contouring mentre il secondo consente di effettuare la conversione time – depth, il *forward modelling*, la retrodeformazione e il bilanciamento strutturale.

Per poter utilizzare il programma di Kingdom è necessario disporre di linee sismiche e pozzi in formato digitale georeferenziati. In questo lavoro di tesi, per esempio, si dispone di 49 sezioni sismiche e 11 pozzi; sulle prime, tramite un processo di picking si riportano i riflettori riconosciuti sulle linee sismiche cartacee nei profili digitali in formato SegY.

All'apertura del progetto di Kingdom 8.2, nella medesima schermata, si visualizza una carta di base come quella di Figura 1 e un Tree ovvero una finestra di dialogo al cui interno sono riportati i nomi delle linee sismiche, gli Horizons, la/le eventuali superfici di faglia e i Grid.

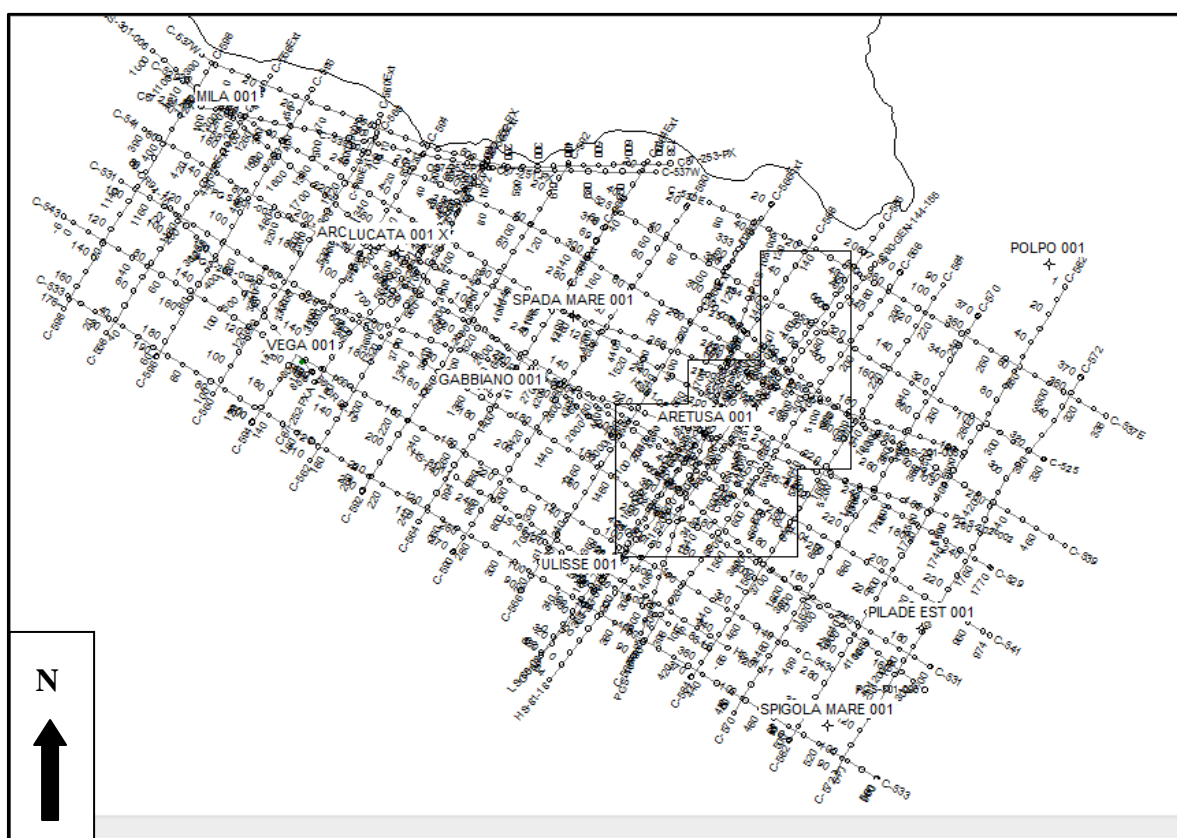


Figura 1: Carta di base di Kingdom in cui sono riportate 49 linee sismiche e 11 pozzi petroliferi.

Per tracciare i riflettori sul programma Kingdom è necessario effettuare i seguenti passaggi:

- Aprire il programma Kingdom 8.2 e dalla finestra di dialogo Tree, localizzata a destra della carta di base, selezionare una delle linee sismiche da cui iniziare la fase di picking.
- Dal menù principale cliccare sulla finestra a tendina Horizon e selezionare il comando Horizon Management. Scegliendo questo comando il software Kingdom apre una finestra di dialogo; in essa l'utente deve inserire il nome e il colore relativo ad ognuno degli orizzonti riconosciuti durante il processo di taratura;
- Sulla linea sismica selezionata in precedenza si procede con il picking manuale dei riflettori. Cliccando il tasto destro del mouse sulla sezione sismica si apre una finestra di dialogo nella quale selezionare il comando Set Active Surface Picking. Si apre una nuova finestra in cui l'utente deve scegliere quale riflettore adoperare per l'operazione di picking.
- Cliccando nuovamente il tasto destro del mouse sulla sezione sismica si riapre la medesima finestra di dialogo. In essa, dopo aver selezionato il primo Horizon con cui iniziare la fase di picking, si devono settare due parametri: la modalità con cui effettuare il picking (Horizon: Pick Mode) e la fase del riflettore (Horizon: Phase). Nel primo caso si può scegliere se riportare manualmente i riflettori tramite il comando Manual oppure, nel caso in cui la linea sismica lo permetta, utilizzare uno degli algoritmi di interpolazione disponibili nel programma Kingdom (Fill, Hunt, 2DHunt, 2DContinue, 3Hunt e 3DSmooth); nel secondo caso si decide se fare il picking del Peak, del Trough o della fase zero (positiva o negativa) dell'Horizon.
- Definiti tutti i parametri può avere inizio la fase di picking vera e propria.

Se la qualità delle sezioni sismiche è scarsa, quelle relative all'area di studio, conviene scegliere il picking manuale. Dove la risoluzione è migliore, magari anche solo per tratti limitati, si possono adoperare gli algoritmi di interpolazione (ad esempio Hunt e 2DHunt). Nel lavoro di tesi, questi algoritmi sono utilizzati per tracciare la doppietta della Fm Gessoso Solfifera, riconoscibile per gli alti valori di ampiezza, e il limite superiore della Fm Ragusa. Quest'ultimo consiste in un unico riflettore e separa due sismofacies diverse: una trasparente soprastante (Fm Tellaro) da una più riflettiva sottostante (Fm Ragusa). Come affermato in precedenza, non è sempre possibile utilizzare questi algoritmi di interpolazione, ma dipende dalla risoluzione della sezione sismica. Riguardo la Phase, in questo lavoro, si è deciso di utilizzare sia il Peak sia la fase zero a seconda di qual'era la porzione di riflettore meglio visibile su ognuno dei profili sismici.

Dopo aver effettuato il picking del primo riflettore si deve agire riportando il medesimo Horizon sulle restanti linee sismiche; infine si procede al tracciamento dei limiti superiori delle altre formazioni.

Per realizzare il *loop* di un riflettore da una sezione sismica ad un'altra linea sismica ad essa perpendicolare, il programma Kingdom 8.2 consente di visualizzare, nella stessa schermata, due o più porzioni di linee sismiche, diverse tra loro e di osservarne l'andamento. In corrispondenza dell'intersezione tra due profili sismici, è necessario che i due tratti del medesimo riflettore si trovino allo stesso valore temporale. Per attivare questa funzione è necessario aprire la carta di base del progetto, cliccare con il tasto destro del mouse in un qualsiasi punto e selezionare il comando Digitize Arbitrary Line dalla finestra a tendina. Scelto questo comando si apre un'altra finestra a tendina nella quale è necessario cliccare sull'opzione Single Across Survey (Figura 2).

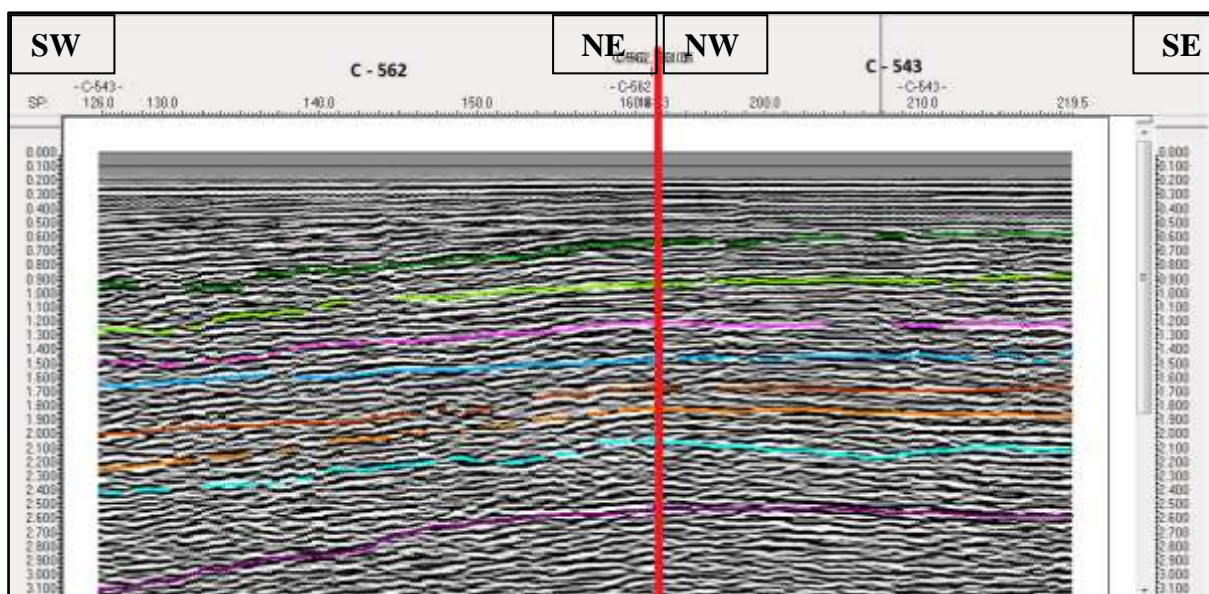


Figura 2: Intersezione tra due linee sismiche tramite il comando Digitize Arbitrary Line.

Lo stesso tipo di controllo può essere effettuato in un altro modo più sbrigativo. Durante la fase di picking, manuale o con l'ausilio di qualche algoritmo, è possibile notare sulle linee sismiche un cerchietto colorato; esso corrisponde al punto in cui passa il medesimo riflettore sulla sezione sismica perpendicolare. Al fine di ottenere un buon risultato già durante la fase di tracciamento, e non dover poi controllare una per una tutte le intersezioni con il metodo precedente esposto, è necessario che durante la fase di picking ognuno dei riflettori passi all'interno dei pallini. Spesso capita che questi ultimi siano molto piccoli e selezionando il tasto Project dal Menù principale si apre una finestra a tendina all'interno della, verso la fine, si trova il comando User Preferences. Cliccandovi sopra si apre una finestra di dialogo in cui

l'utente può modificare i parametri relativi alle dimensioni dei cerchi colorati visibili in Figura 3.

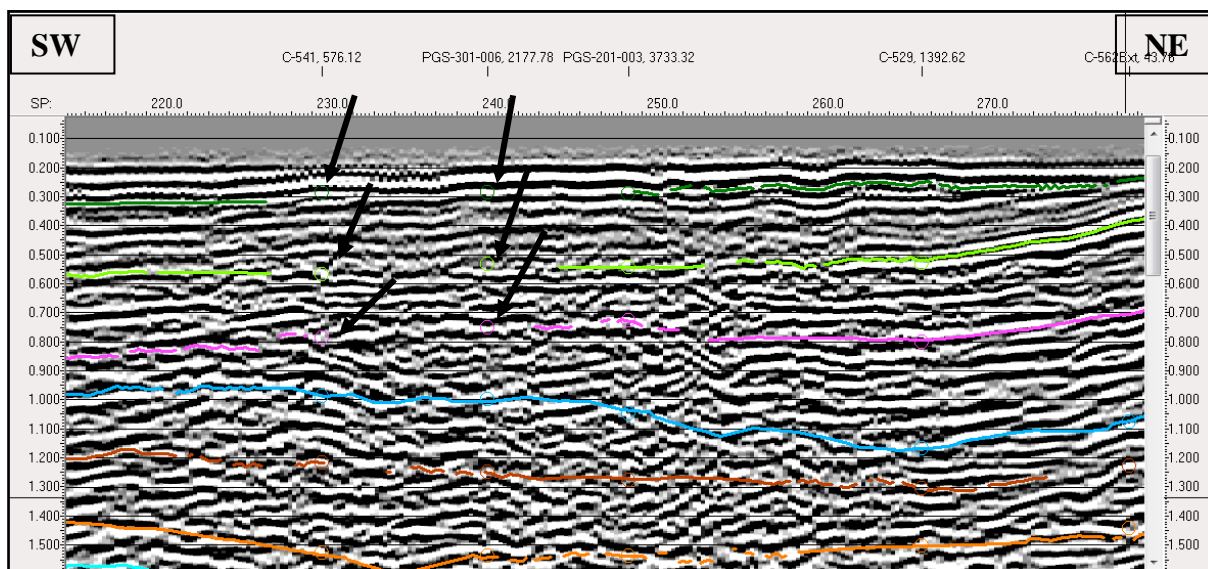


Figura 3: I pallini colorati, indicati con le frecce nere, sono i punti in cui i medesimi riflettori si trovano sulla linea perpendicolare.

Terminata la fase di picking e quella di *looping* è necessario riportare nel progetto la o le eventuali superfici di faglia. Gli stessi passaggi prima elencati per creare i riflettori (Horizons) devono essere ripetuti anche per inserire la o le superfici di faglia. Ad ogni faglia è necessario assegnare un nome ed un colore (di solito rosso) come spiegato nei passaggi seguenti:

- Aprire la finestra a tendina Faults dal Menù principale e cliccare sul comando Fault Surface Management. Selezionando questo comando il programma automaticamente apre una finestra di dialogo all'interno della quale è possibile aggiungere, modificare o eliminare una o più superfici di faglia. Nel caso in questione si desidera iniziare creando una nuova superficie di faglia.
- Perché la fase di picking abbia inizio è necessario selezionare la sezione sismica di partenza e cliccarci sopra con il tasto destro del mouse; il software Kingdom apre una finestra a tendina al cui interno è necessario selezionare il comando Set Active Surface for Management. Mentre nel caso precedente si andava a scegliere un Horizon ora si deve cambiare cartella e scegliere quella al cui interno sono contenute le faglie (Faults), cliccare sulla superficie di faglia di interesse e premere invio. In automatico, il programma, chiude la finestra di dialogo.
- Premere il tasto D della tastiera del computer e procedere con la digitalizzazione della Fault sulla prima linea sismica. Lo stesso processo deve esser ripetuto su tutte le altre linee sismiche e per tutte le altre superfici di faglia (qualora ci fossero).

- Terminata la fase di picking per visualizzare l'andamento in pianta di tale superficie si deve cliccare due volte sul nome della faglia nel Tree (posizionato a destra della carta di base). Con questo tipo di rappresentazione è possibile notare sia se la superficie ha un andamento rettilineo sia se ci sono delle zone in cui essa ha un'inclinazione maggiore.

Una volta tracciati gli orizzonti e la/le superfici di faglia si può procedere alla creazione dei grid relativi ad ognuno dei riflettori tracciati precedentemente sui profili sismici. Nel caso in questione in questo lavoro di tesi, si è proceduto alla creazione di otto grid relativi al tetto di tutte le formazioni geologiche riconosciute dalla taratura delle linee sismiche effettuata per mezzo dei dati stratigrafici contenuti nei pozzi. Per utilizzare la funzione di gridding, come spiegato nel tutorial di Kingdom 8.2, esistono diversi algoritmi i quali sono raggruppati in due categorie:

- Data Adaptive;
- Mathematical Model.

La prima categoria contiene gli algoritmi in grado di riprodurre fedelmente le variazioni dei dati in prossimità delle superfici di faglia. Essi, descritti nel tutorial e relativi a questa categoria, sono i seguenti:

- Flex Gridding: permette di combinare i valori di Minimum Tension e Minimum Curvature o di scegliere anche solo uno dei due parametri. Tra tutti gli algoritmi questo è quello che opera più velocemente ed è l'unico che consente all'utente di scegliere se effettuare il gridding all'interno della sola area di indagine o in una zona più ampia. In quest'ultimo caso il problema che sorge è legato al fatto che i valori individuati all'interno dell'area di studio sono fortemente influenzati dalla mancanza di informazioni all'esterno (Figura 4). Per risolvere tale problema si possono rifilare i vertici del poligono sul quale effettuare il grid (Figure 5 – 8).

Le immagini mostrate di seguito riguardano gli orizzonti tracciati sulle 49 linee sismiche utilizzate in questo lavoro di tesi.

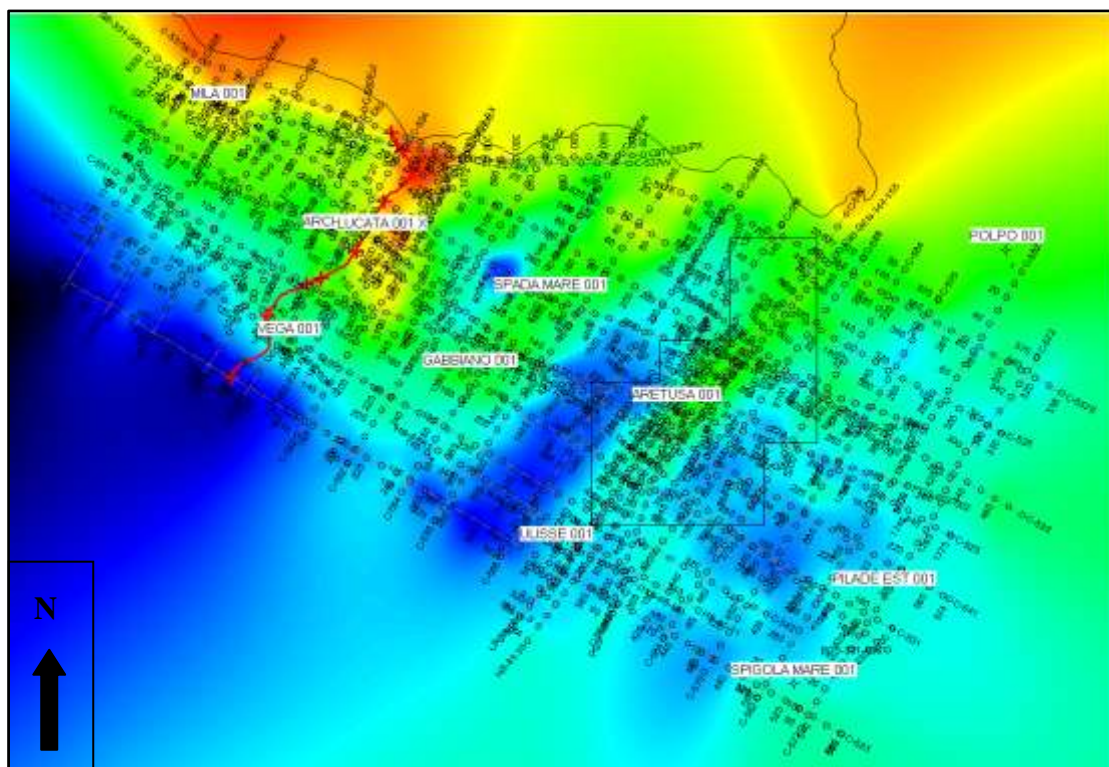


Figura 4: Grid relativo all'orizzonte definito come il limite superiore della Fm. Hybla realizzato con l'algoritmo di Flex Gridding. Nelle opzioni relative a questo algoritmo si è scelto di non limitare il grid alla sola area di studio.

- Gradient Projection: calcola le derivate rispetto a X e a Y per ogni input di dati. Per definire un valore di output interpolato per il grid, questo algoritmo, assegna un valore pesato ad ognuno dei punti pari all'inverso della sua distanza dai nodi di una griglia.
- Inverse Distance to Power: questo algoritmo funziona bene in presenza di dati sparsi. Esso opera suddividendo l'area in una maglia regolare costituita da tanti nodi; in corrispondenza di ognuno di essi il software genera un cerchio all'interno del quale cadranno una parte dei dati. Ad ognuno di essi il software attribuisce un valore pesato pari all'inverso della distanza del singolo punto dal nodo.

La seconda categoria riguarda gli algoritmi in grado di generare superfici *smooth*. Lo svantaggio di questo metodo è legato al fatto che la superficie di fit generata a partire da un modello matematico, non è in grado di rappresentare in modo soddisfacente i dati raccolti. Nel tutorial di Kingdom 8.2, all'interno della categoria Mathematical Model, si trova un unico algoritmo (Cubic Spline) il quale adopera polinomi di terzo ordine al fine di generare superfici *smooth*. Ogni valore interpolato è attribuito ad uno dei nodi di una griglia regolare in cui è suddivisa l'area di studio.

L'algoritmo del Cubic Spline tende a sovrastimare o a sottostimare i dati presenti nell'area al fine di soddisfare le condizioni di *smoothness*. Questo metodo, inoltre, non opera in maniera soddisfacente in presenza di faglie.

Prima di procedere alla realizzazione dei grid, relativi ad ognuno dei riflettori si è deciso di testare questi quattro algoritmi utilizzando sul tetto della Fm Hybla. Dapprima si è scelto di utilizzare gli algoritmi del tipo Data Adaptive (Flex Gridding, Gradient Projection e Inverse Distance to Power in quest'ordine) e poi quelli della categoria Mathematical Model (Cubic Spline).

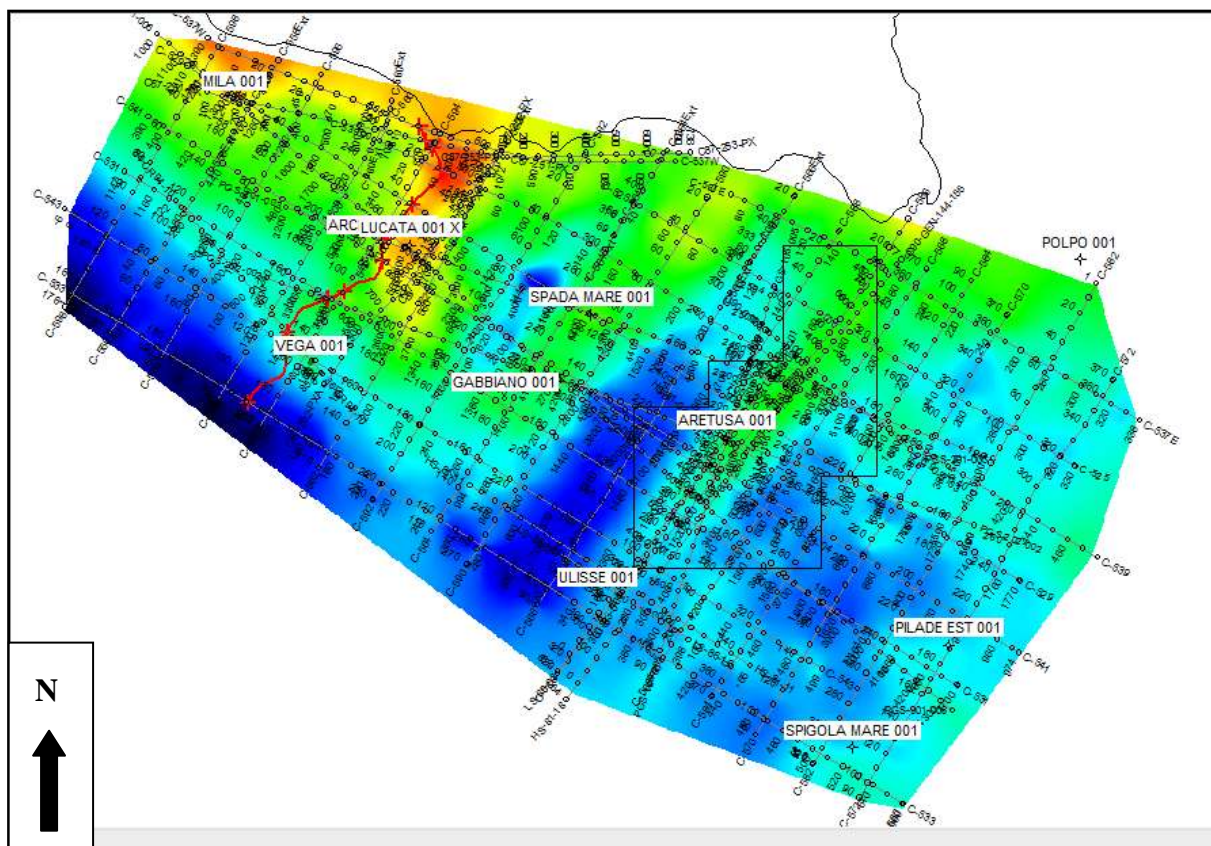


Figura 5: Grid relativo al limite superiore della Fm. Hybla (Flex Gridding)

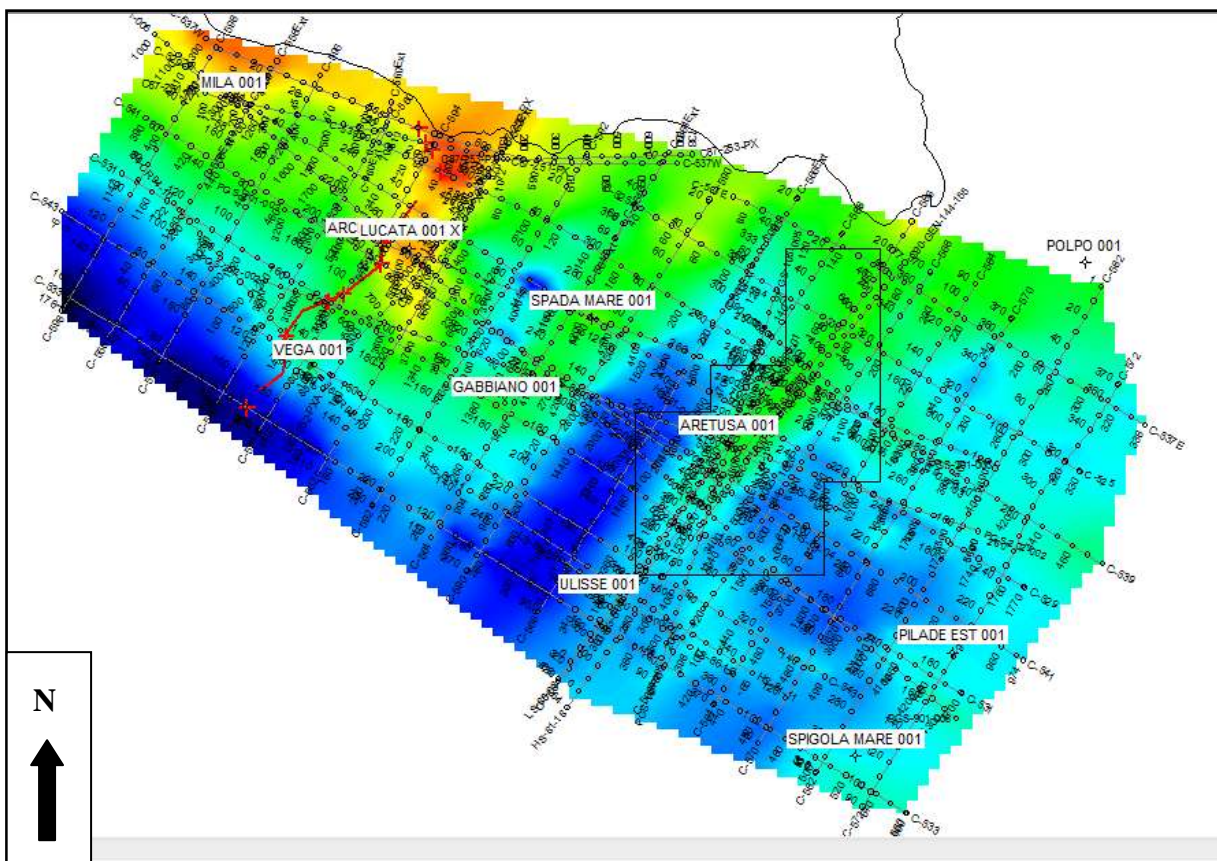


Figura 6: Grid relativo al limite superiore della Fm. Hybla (Gradient Projection)

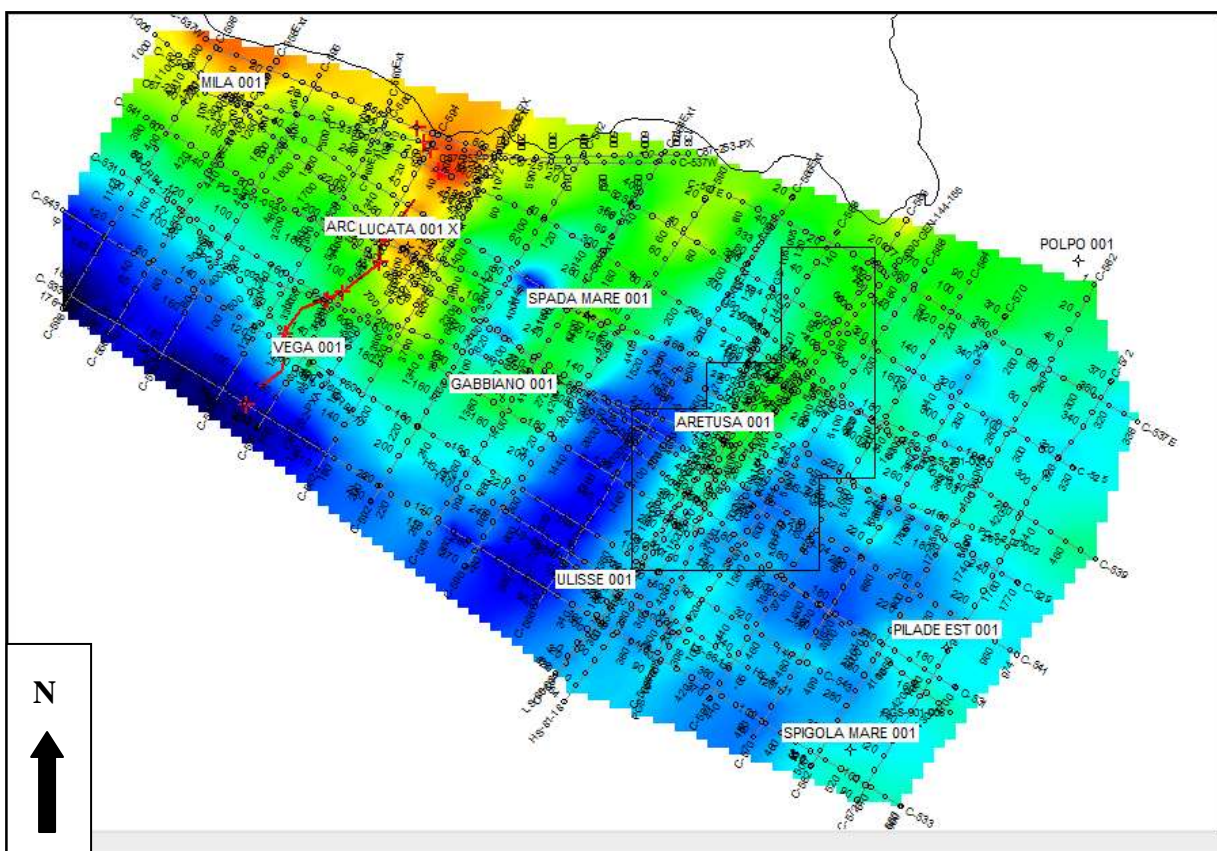


Figura 7: Grid relativo al limite superiore della Fm Hybla (Inverse Distance to Power)

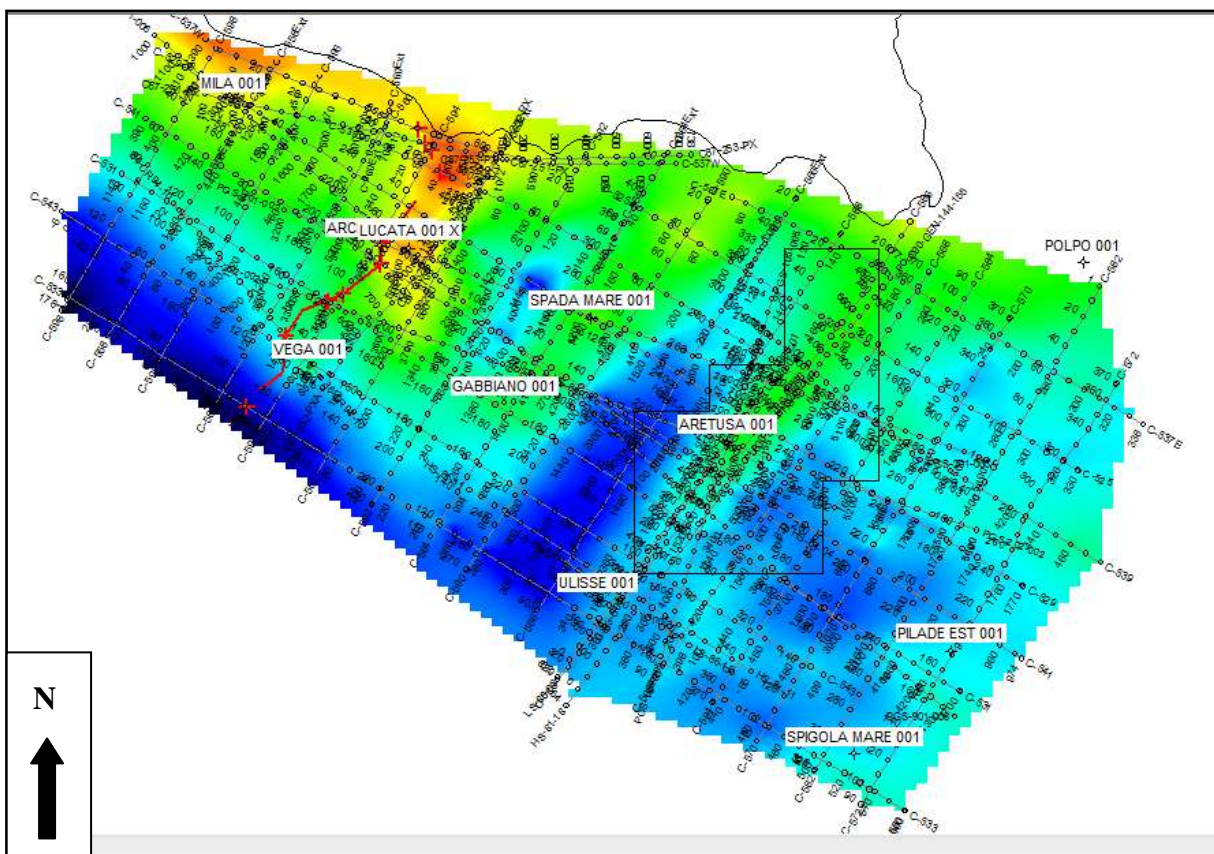


Figura 8: Grid relativo al limite superiore della Fm Hybla (Cubic Spline)

Osservando i risultati ottenuti, relativi al limite superiore della Fm Hybla (Figure 5 – 8), si può notare che i quattro grid sono molto simili tra loro. Tramite un'analisi di dettaglio è possibile riscontrare due differenze:

- Ai bordi dell'area di indagine.
- In corrispondenza della faglia (rappresentata in rosso).

Riguardo ai bordi è possibile affermare che in un solo caso essi si presentano smooth (Flex Gridding) mentre negli altri tre casi si mostrano seghettati (Gradient Projection, Inverse Distance to Power e Cubic Spline). In quest'ultimo caso si ha l'impressione che durante la fase di interpolazione tutta l'area di studio venga divisa in un gran numero di celle.

La seconda differenza riguarda l'andamento della superficie di faglia. Essa taglia i limiti superiori di tutte le formazioni provocando il ribassamento della porzione nord-occidentale dell'area rispetto a quella sud-orientale. Osservando i profili sismici in cui passa la faglia si nota che gli algoritmi di Gradient Projection, Inverse Distance to Power e Cubic Spline generano una superficie di interpolazione intermedia che collega i due lati del medesimo riflettore tagliato dalla faglia. Questo non avviene nel caso del di Flex Gridding; in questo

caso il software Kingdom realizza una superficie di interpolazione che si interrompe in corrispondenza della superficie di faglia. (Figura 9 A – C).

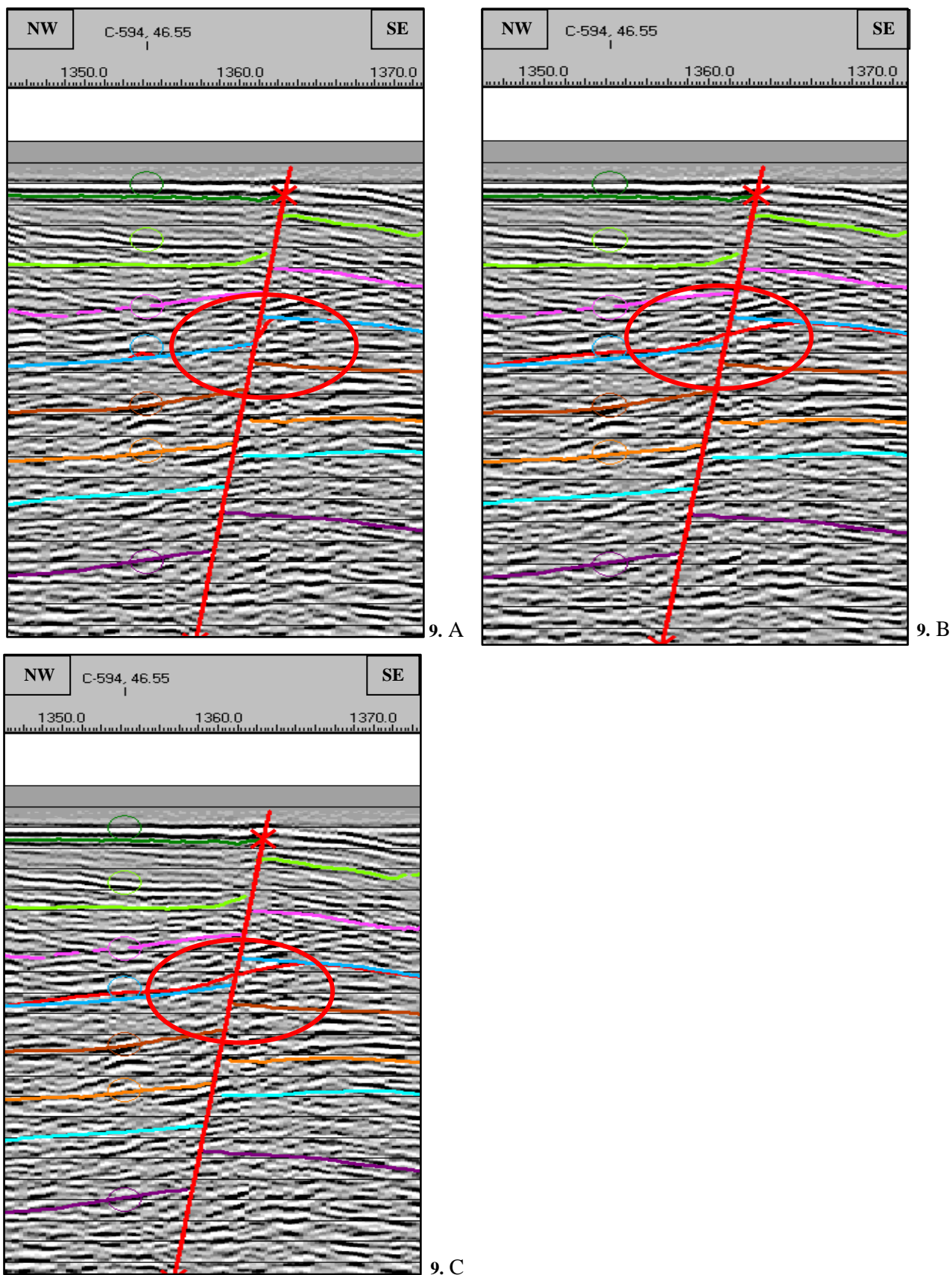


Figura 9: Con il colore rosso è rappresentato l'andamento della superficie di interpolazione sulla sezione sismica C - 529. Nella Figura 9. A è utilizzato l'algoritmo di Flex Gridding; nella Figura 9. B l'algoritmo di Gradient Projection ed infine nella Figura 9. C l'algoritmo di Inverse Distance to Power.

A parte queste due piccole differenze, le strutture compressive di sottosuolo visibili nei grid sono tra loro simili.

Tra tutti e quattro gli algoritmi a disposizione si consiglia di utilizzare l'algoritmo di Flex Gridding il quale permette una migliore rappresentazione.

In modo analogo si è scelto di realizzare il grid della superficie di faglia; esso può essere realizzato tramite uno dei tre algoritmi che ricadono all'interno della categoria Data Adaptive. Il quarto algoritmo, Cubic Spline, non può essere utilizzato in quanto, come spiegato nel tutorial, non funziona in presenza di superfici di faglia.

L'algoritmo di Flex Gridding, molto buono per la rappresentazione dei limiti superiori delle formazioni, non dà risultati soddisfacenti rispetto al Gradient Projection o l'Inverse Distance to Power in presenza di una superficie di faglia per cui è equivalente usare questo metodo o un altro (Figura 10).

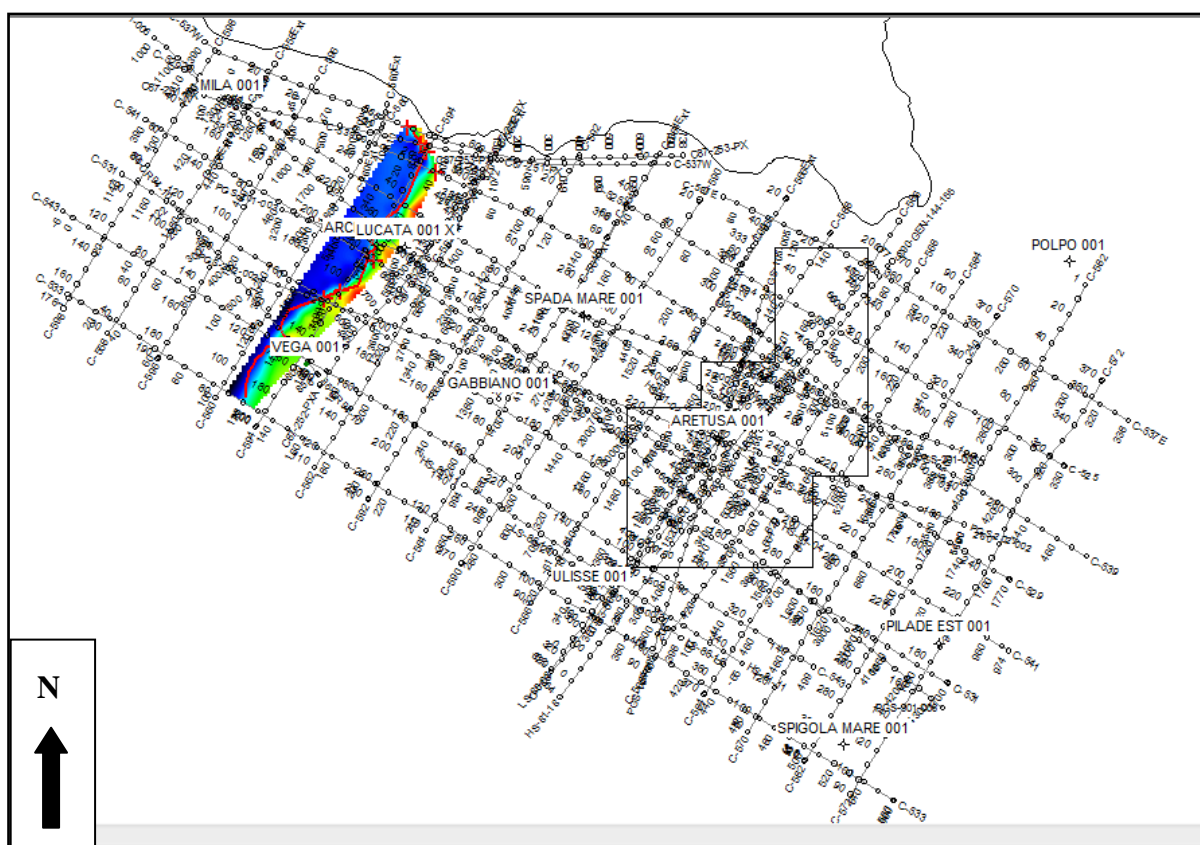


Figura 10: Grid relativo alla superficie di faglia riconosciuta sui profili sismici del progetto CR 148. In questo caso si è scelto di utilizzare l'algoritmo di Flex Gridding.

Una volta completata la fase di picking, quella di *looping* e quella di gridding è possibile esportare i file (linee sismiche, orizzonti e superfici di faglia) al fine di utilizzarli su altri software. Questo passaggio diventa necessario quando si debba utilizzare un altro programma come ad esempio il software Move.

Per esportare le linee sismiche è necessario cliccare sul tasto Survey dal Menù principale e selezionare il comando Export Single Line dalla finestra a tendina. Il software apre automaticamente una nuova finestra di dialogo all'interno della quale l'utente può scegliere quale, di tutte le linee sismiche presenti nel progetto, si vuole esportare; allo stesso modo è possibile scegliere una porzione della sezione sismica definendo gli shots. Tutte le linee sismiche che vengono esportate da Kingdom sono in formato SegY.

Terminata l'esportazione di uno o più profili sismici si procede con gli orizzonti. Per far questo si deve cliccare sul tasto Horizon localizzato nel Menù principale e selezionare il tasto Export. Il software Kingdom 8.2 apre un'altra finestra di dialogo all'interno della quale si può scegliere se esportare uno o più riflettori contemporaneamente e da quali linee sismiche del progetto. Infine, nel caso in cui ci siano, si deve esportare la superficie di faglia. Per far questo si deve cliccare sul tasto Fault dal Menù principale e selezionare il comando Export.

Sia gli orizzonti che la superficie di faglia sono esportati in formato GeoQuest – CARD IMAGE 7.

Software Move

Terminato l'utilizzo del programma Kingdom 8.2 si procede all'apertura del software Move il quale consente di effettuare i seguenti processi:

- *time – depth conversion* consente di modificare l'asse verticale di ogni profilo sismico da secondi (s) a metri (m);
- retrodeformazione e bilanciamento strutturale consente di riportare le strutture deformate nella loro posizione originaria.
- *forward modelling* genera modelli che simulano il più possibile la realtà;

Di seguito si tratterà la conversione tempo – spazio e l'attività di *forward modelling*; quest'ultimo processo consente di creare uno o più modelli in grado di riprodurre una situazione reale simile a quella visibile nei profili sismici.

Prima di procedere con uno dei processi prima elencati è necessario caricare la sezione sismica in formato SegY cliccando sul tasto Open dal Menù principale. Sul profilo appena aperto si devono inserire, nel seguente ordine, i riflettori e la superficie di faglia esportati in precedenza dal programma Kingdom 8.2. Cliccando con il tasto destro del mouse su uno degli orizzonti e selezionando il tasto Properties, si può modificare o correggere il nome, il colore e lo spessore di ognuno dei limiti superiori delle formazioni.

Prima di effettuare la *time – depth conversion* è necessario controllare che tutti gli orizzonti importati su Move si trovino dove sono stati precedentemente tracciati tramite picking manuale su Kingdom. Dove non sussista questa condizione è necessario cliccare il tasto destro del mouse sul file in formato digitale e selezionare il comando Edit da una finestra a tendina. Esso consente di agire manualmente sui punti (chiamati nodi) di cui è costituito il singolo riflettore. Al fine di correggere l'andamento dell'orizzonte, si possono aggiungere, rimuovere o eliminare i nodi presenti nella curva. Questo controllo deve essere effettuato in particolar modo in corrispondenza delle superfici di faglia dove i due tratti del medesimo riflettore, in teoria, dovrebbero essere separati. Durante la fase di esportazione degli Horizon il programma Kingdom interpola una curva la quale non riproduce il reale andamento delle due porzioni di riflettore tagliato dalla faglia, ma agisce interpolando una superficie intermedia (Figura 11 A e B). Per correggere questo errore si deve agire con il comando Edit andando a sistemare l'andamento di ognuno dei riflettori.

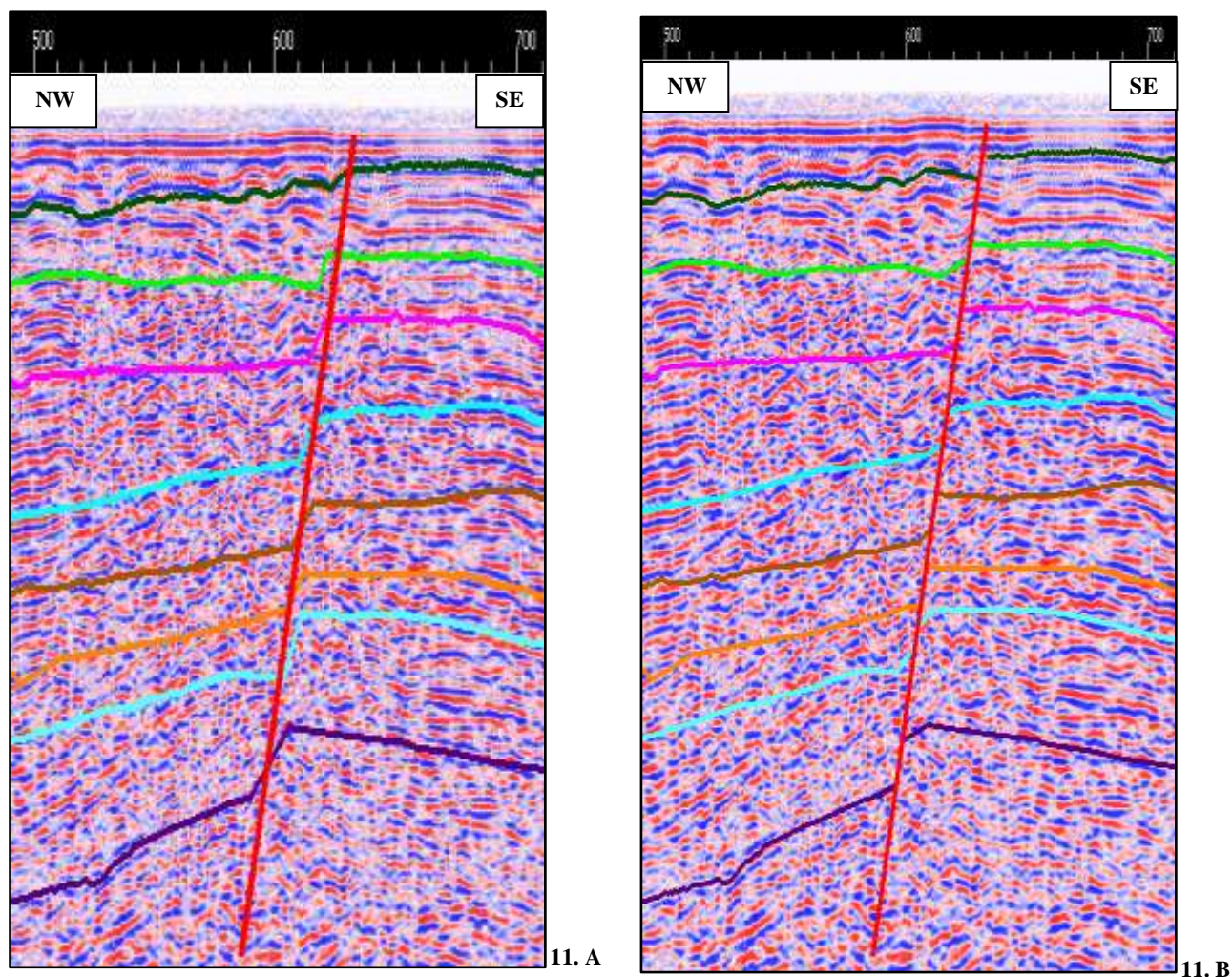


Figura 11: Riflettori esportati da Kingdom 8.2 e caricati sulla sezione sismica (6.A); risultato finale ottenuto dopo aver usato il comando Edit ed aver sistemato l'andamento di ognuno degli orizzonti (6.B).

Terminato questo controllo si può procedere alla creazione dei poligoni che servono per suddividere l'intero profilo sismico in tanti intervalli; ad ognuno di essi viene attribuito un valore di velocità che sarà poi necessario per il processo di conversione tempo – spazio. Mentre il limite superiore e quello inferiore del poligono sono rappresentati dal limite superiore delle formazioni, quello destro e sinistro devono essere aggiunti manualmente. Per risolvere questo problema il software Move mette a disposizione delle linee verticali chiamate Post le quali possono essere aggiunte cliccando sul tasto Create dal Menù principale selezionando il comando Post. Per rendere meglio visibili queste linee verticali conviene rappresentarle molto spesse ($\text{thickness} = 5$) e di colore arancione.

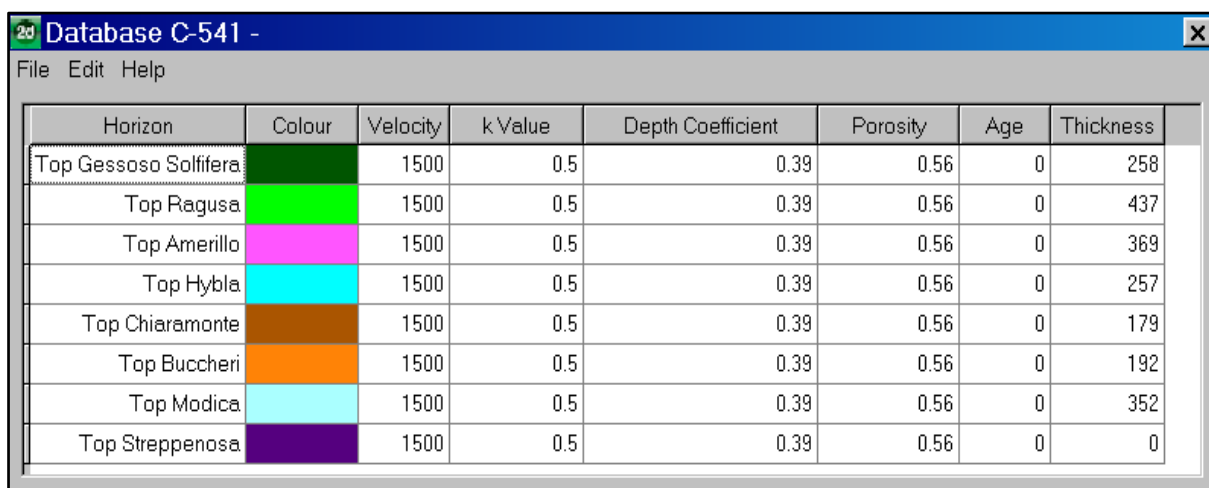
Dopo aver aggiunto i Post si procede alla creazione dei poligoni selezionando con il mouse sia gli orizzonti sia i Post appena creati tenendo premuto il tasto Ctrl, si clicca sul tasto Create localizzato nel Menù principale e si apre una finestra a tendina all'interno della quale si trova il comando Polygons (Auto). A questo punto si possono verificare due situazioni:

- la prima, quella più rapida, porta all'immediata creazione di tutti i poligoni con le forme e i colori definiti in precedenza dall'utente. In questo caso, se i poligoni sono corretti e delle giuste dimensioni, si può procedere al processo di *time – depth conversion*.
- la seconda si riferisce alla comparsa di un messaggio di errore nel quale il software Move avvisa l'utente che non è in grado di creare automaticamente uno o più poligoni e che alcune aree della sezione sismica rimarranno prive di colore. Per poter risolvere il problema è necessario ricontrollare tutti i nodi degli orizzonti vedendo se sono interrotti in qualche punto ed assicurarsi che il loro andamento prosegua fino ai bordi della sezione sismica, fin dopo i Post.

Terminata la fase di creazione automatica dei poligoni è necessario attribuire ad ognuno di essi i valori di spessore (m) e di velocità (km/s). Per procedere con questa fase è necessario tarare ogni linea sismica per mezzo dei dati stratigrafici contenuti nei pozzi. Noti gli spessori delle formazioni geologiche e i loro valori di velocità nell'area di studio si deve cercare qual è o quali sono i pozzi più vicini alla sezione sismica in esame. Nel caso in cui ci sia più di un pozzo in prossimità della linea sismica è necessario fare una media pesata dei valori di spessore e velocità di tutti i pozzi tenendo bene in considerazione la distanza di ognuno dalla sezione sismica in questione.

I dati finali ottenuti devono essere inseriti all'interno di una tabella la quale può essere creata aprendo la finestra a tendina Data dal Menù principale e selezionando il comando Database. All'interno della tabella si deve inserire:

- il nome del poligono il quale sarà analogo al nome del tetto della formazione;
- il colore del poligono;
- la velocità intervallare della formazione;
- il K – value dell’intervallo;
- il coefficiente di profondità dell’intervallo;
- il valore di porosità dell’intervallo;
- l’età dell’intervallo;
- lo spessore dell’intervallo.



Horizon	Colour	Velocity	k Value	Depth Coefficient	Porosity	Age	Thickness
Top Gessoso Solifera		1500	0.5	0.39	0.56	0	258
Top Ragusa		1500	0.5	0.39	0.56	0	437
Top Amerillo		1500	0.5	0.39	0.56	0	369
Top Hybla		1500	0.5	0.39	0.56	0	257
Top Chiaramonte		1500	0.5	0.39	0.56	0	179
Top Buccheri		1500	0.5	0.39	0.56	0	192
Top Modica		1500	0.5	0.39	0.56	0	352
Top Streppenosa		1500	0.5	0.39	0.56	0	0

Figura 12: Esempio di Database presente sul software Move. Al suo interno, in ogni cella, si trovano solo valori di default.

Se si hanno valori di spessore e velocità degli intervalli provenienti da un’analisi di velocità, all’interno del Database (Figura 12), si devono sostituire questi valori a quelli di default. Nel tutorial del programma Kingdom 8.2 è spiegato che, qualora non si utilizzino i valori di velocità di default, si deve impostare il parametro di K – value relativo ad ognuno degli intervalli uguale a zero. Gli altri parametri devono rimanere quelli di default.

Completato l’inserimento dei dati all’interno del Database è necessario salvarlo cliccando su Save as sul comando Menù presente in alto a sinistra. Questo passaggio è necessario per poter poi utilizzare i valori inseriti all’interno della tabella per la fase di conversione tempo – spazio.

Infine si procede con la *time – depth conversion* aprendo la finestra a tendina Operations dal Menù principale e selezionando il comando Depth Convert. Cliccando su questo tasto il programma Move apre una finestra di dialogo all’interno del quale è necessario settare i seguenti parametri (Figura 13):

- Use Default Values/Database → questo comando permette di scegliere se si desidera adoperare i valori di default attribuiti ad ognuno dei poligoni dal software o se si preferisce utilizzare dei valori contenuti in un Database;

- Se si sceglie l'opzione Use Database è necessario cliccare su Database (in alto a destra) e selezionare la tabella contenente i valori di velocità relativi ai poligoni in questione. Se esiste un solo Database, in genere, Move lo apre di default;
- Utilizzando i parametri contenuti in un database il valore di Velocity non deve essere impostato su v0, corrispondente ad un dato di default, ma su Horizons in modo tale da utilizzare la velocità intervallare contenuta nel Database;
- Si deve spuntare Use Polygons;
- Scegliere il numero di campioni. In genere di default si trova un valore di 100 campioni. Aumentando il numero aumenta solamente il tempo di attesa mentre la qualità del risultato non migliora, per cui si consiglia di lasciare un valore pari a 100.

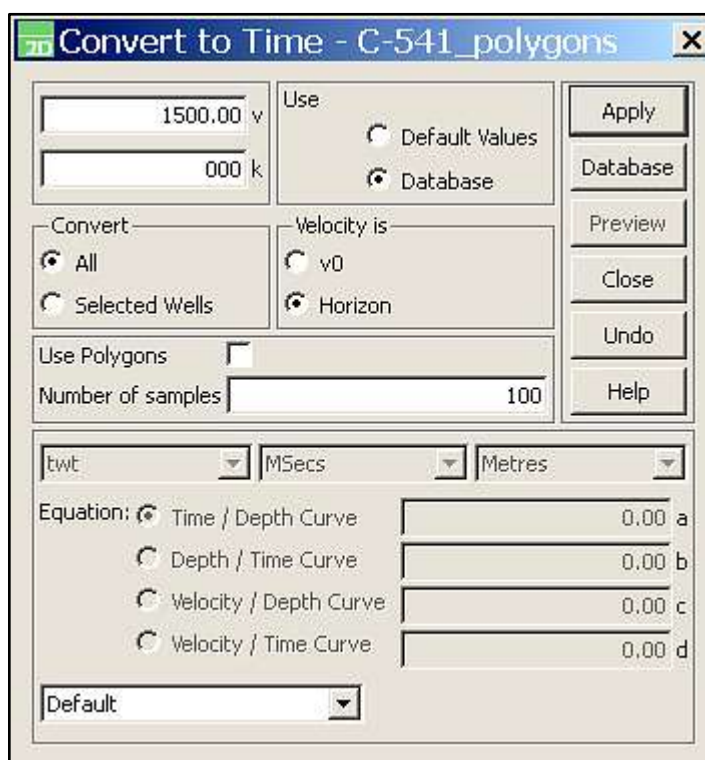


Figura 13: Finestra di dialogo per effettuare la *time - depth conversion*

Impostati tutti questi parametri per iniziare la *time – depth conversion* si deve cliccare sul tasto Apply posto in alto a destra. Nel giro di un paio di secondi, a seconda della rapidità del processore, si ottiene la conversione della sezione sismica; il suo asse verticale non esprime più i secondi (s), ma i metri (m). Nel caso in cui si volesse nuovamente tornare alla linea sismica di partenza si deve ricliccare sul tasto Apply. In questo modo, riutilizzando gli stessi valori di velocità, si dà inizio al processo di *depth – time conversion*.

Una volta riportata la scala verticale della sezione sismica in tempi (s), si può agire andando a modificare i valori di velocità e/o di spessore contenuti nel Database iniziale al fine di

ottenere un risultato migliore. Dopo ogni correzione è necessario salvare i valori inseriti in un nuovo Database.

Terminata la fase di *time – depth conversion* si desidera spiegare quali sono i passaggi base per procedere con il processo di *forward modelling* il quale consente di modellizzare la realtà. Innanzitutto è necessario creare manualmente un *cake layer* ovvero un modello di partenza costituito da almeno due riflettori disposti orizzontalmente. Per inserire tali orizzonti si deve cliccare sul tasto Create dal Menù principale, selezionare il comando Create Line e tracciare manualmente ognuno degli orizzonti che andranno a comporre il *cake layer*. La distanza a cui sono posti questi riflettori può essere costante o variabile a seconda che si vogliano livelli di spessore uguale o diverso. Nel caso in questione si è optato per livelli di spessore diverso cercando di riprodurre una situazione il più simile possibile alle sezioni *depth converted*. Gli estremi di questo modello consistono in due Post verticali disposti a destra e a sinistra alla fine degli orizzonti. Per inserirli è necessario riaprire la finestra a tendina Create e cliccare sul comando Post. Anche in questo caso conviene, per i Post, scegliere due linee di colore arancione, ben visibili, e il cui spessore (thickness) sia almeno uguale o maggiore di 5.

Una volta creato il modello di partenza si può procedere con la fase deformativa utilizzando una delle due categorie di algoritmi (Move on Fault e Unfold) a disposizione nel software Move. Per accedervi è necessario cliccare sul comando Structural Modelling dal Menù principale e selezionare uno degli algoritmi presenti nella finestra a tendina:

- Simple Shear;
- Fault Parallel Fold;
- Fault Bend Fold;
- Detachment Fold;
- Fault Propagation Fold;
- Trishear.

Si parte creando un *cake layer* come quello visibile in Figura 14.

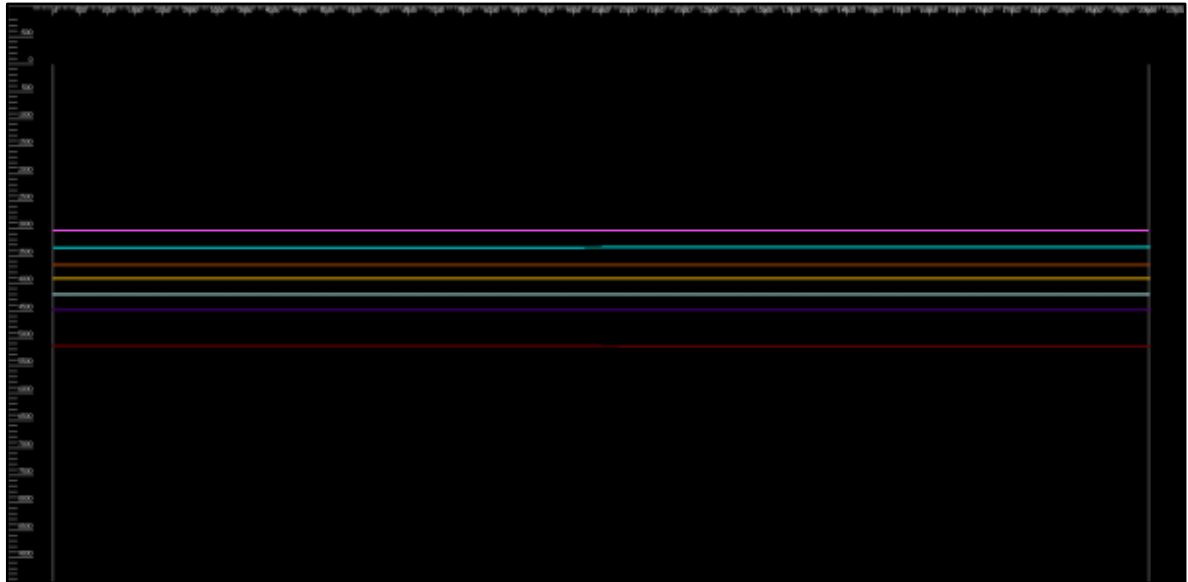


Figura 14: Modello di partenza o *cake layer*.

A seconda degli algoritmi che si desidera utilizzare sono richiesti parametri differenti. Data la struttura riconosciuta e studiata nel lavoro di tesi si è scelto di adoperare due dei sei algoritmi: Detachment Fold e Fault Propagation Fold.

Modello 1: Detachment Fold

Per utilizzare l'algoritmo di Detachment Fold è necessario inserire nel modello di partenza di Figura 14 una superficie di scollamento parallela alla stratificazione chiamata Ductile detachment. Per disegnare questa superficie si deve cliccare sul tasto Create dal Menù principale e selezionare il comando Fault. La Figura 15 mostra contemporaneamente il *cake layer* e la superficie di scollamento duttile posta ad una profondità di 6'500 metri circa.

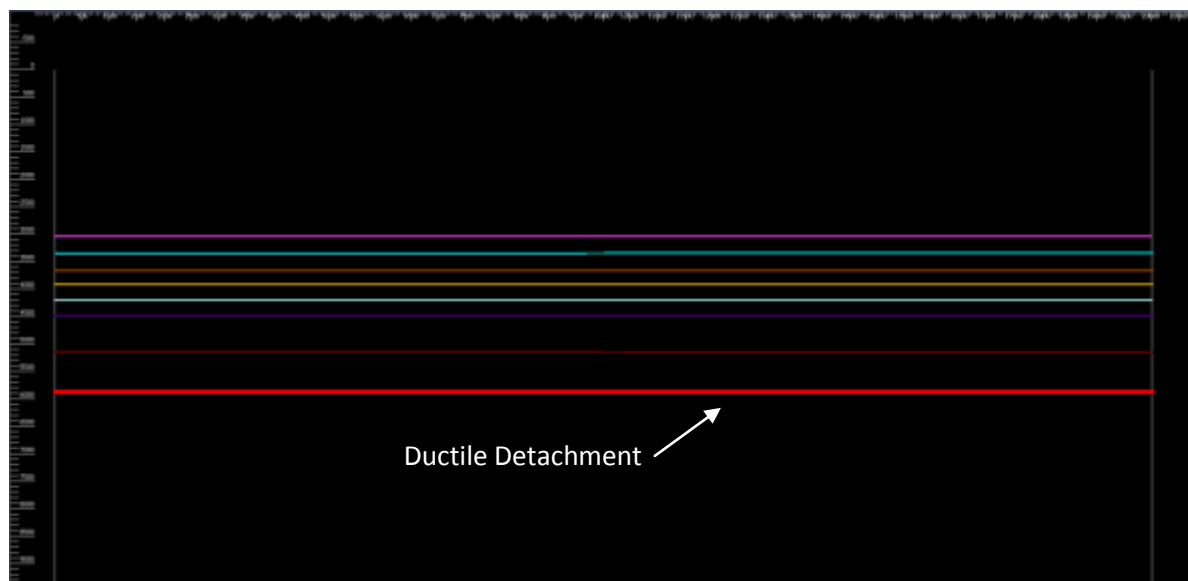


Figura 15: Modello di partenza dopo la creazione del Ductile Detachment

A questo punto, per poter iniziare la fase deformativa, si deve aprire la finestra a tendina Structural Modelling, cliccare sul comando Move on Fault e scegliere l'algoritmo di Detachment Fold. Per poter operare il software Move apre una finestra di dialogo all'interno della quale l'utente deve inserire:

- L'Active Fault che, in questo caso, coincide con la superficie di ductile detachment;
- Object to Be Moved: contiene i nomi dei riflettori che si vuole deformare. Essi, come visibile in Figura 15, giacciono al di sopra della superficie di scollamento duttile rappresentata in rosso.
- Movement. All'interno di questa finestra è necessario settare i valori relativi al Displacement, numero di step, numero di campioni, Mode, inclinazione dei fianchi della piega, Pinned at, Fold Apex, Ductile Thickness e Pin Position.

Nel caso in questione, tramite il processo di *forward modelling*, si vuole riprodurre un'anticlinale asimmetrica costituita da un fianco sinistro inclinato 25° e uno destro inclinato 35°. L'intera struttura che si desidera rappresentare ha un'estensione laterale di circa 8'000 metri. Al fine di ricostruire tale struttura compressiva è necessario modificare più di una volta i parametri contenuti nella finestra Movement, al fine di ottenere il migliore risultato. Oltre a questi cambiamenti si può agire traslando, sia verso l'alto che verso il basso, la superficie di scollamento. I parametri da settare sono i seguenti:

- Displacement;
- Numero di step ;
- Numero di campioni;
- Mode = Constant Area / Constant Thickness;
- Backlimb e Forelimb;
- Pinned at;
- Fold Apex;
- Ductile Thickness;
- Pin Position.

Sulla base dei parametri impostati si ottiene il seguente risultato (Figura 16).

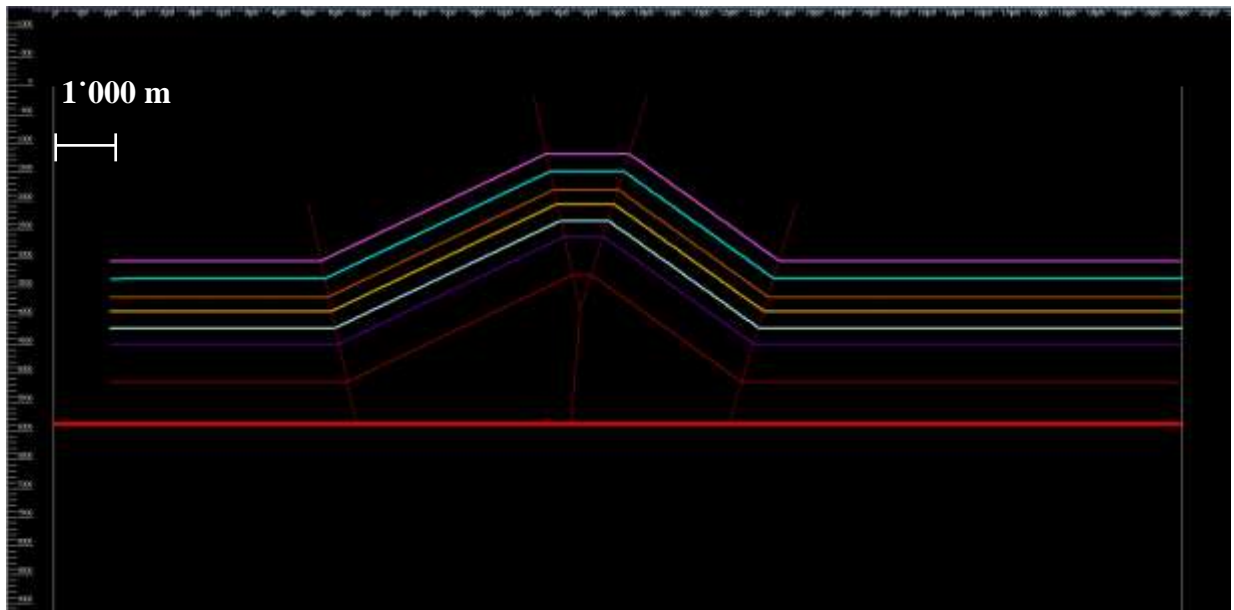


Figura 16: Risultato ottenuto con l'algoritmo di Detachment Fold. I parametri scelti sono: Displacement = 1'000 metri, Numero di step = 1, Numero di campioni = 500, Mode = Constant Area, Backlimb = 25°, Forelimb = 35°, Pinned at = Center, Fold Apex = Right, Ductile Thickness = 250 metri e Pin Position -> non si è scelto un valore in particolare, ma si è cercato di posizionare l'anticlinale al centro del modello.

Terminata la fase deformativa riprende la sedimentazione ed avviene la deposizione degli orizzonti più superficiali successivi la fase compressiva. Queste superfici sono orizzontali e coprono tutte le variazioni morfologiche sottostanti.

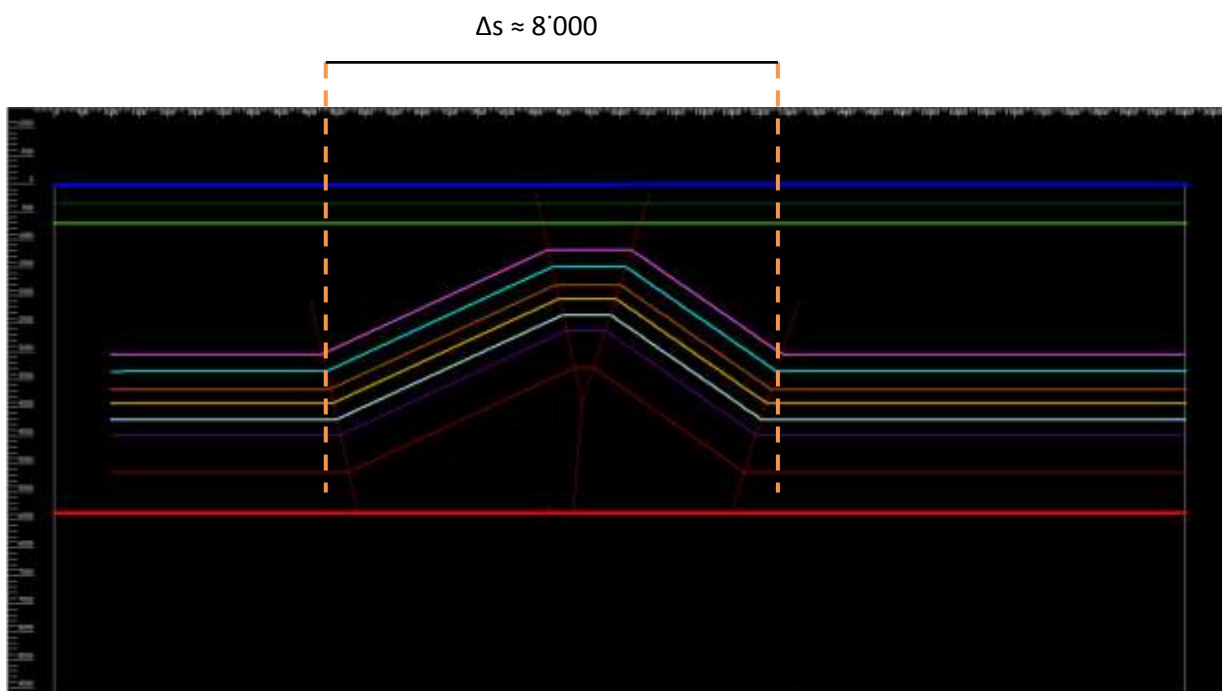


Figura 17: Risultato finale ottenuto con l'algoritmo di Detachment Fold alla fine della fase deposizionale

In Figura 17 è mostrato il risultato finale ottenuto dal processo di *forward modelling*, con l'ausilio dell'algoritmo di Detachment Fold. Infine si è scelto di rappresentare il medesimo risultato con l'ausilio dei poligoni. Per poter effettuare questo tipo di rappresentazione è

necessario assicurarsi che ognuna delle terminazioni degli orizzonti raggiunga i Post verticali posizionati agli estremi della sezione (destra e sinistra).

Effettuato questo controllo si può, tenendo premuto il tasto Ctrl, selezionare tutti i riflettori e creare per mezzo del comando Polygons (Auto), localizzato nel Menù principale, i poligoni (Figura 18).

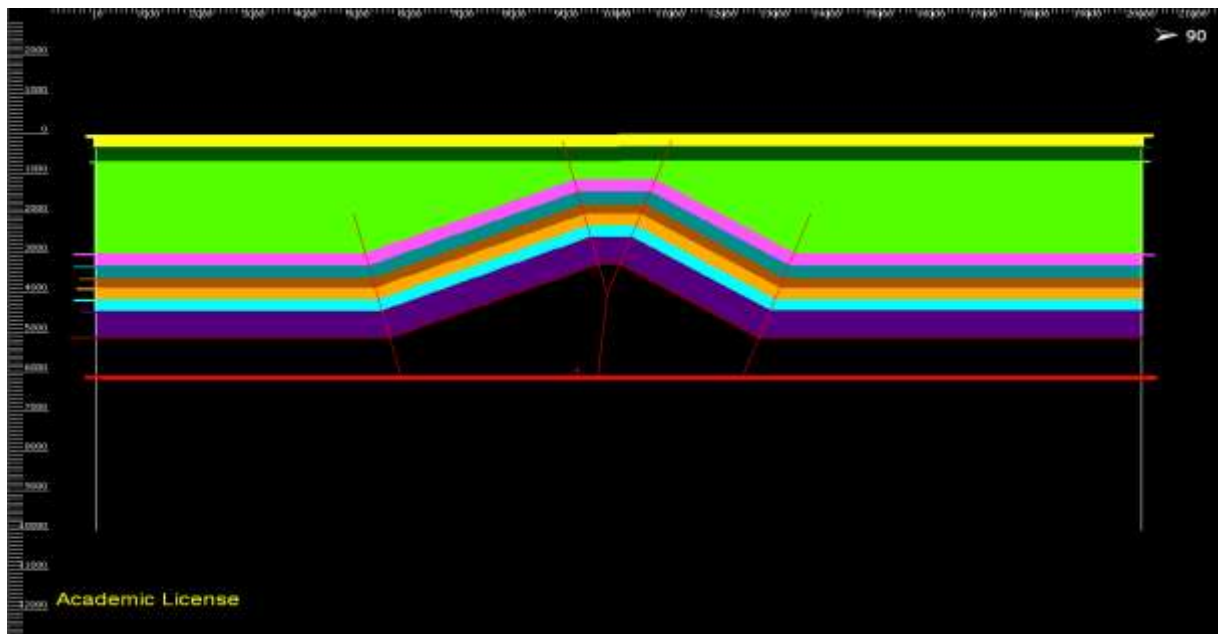


Figura 18: Risultato finale ottenuto con l'algoritmo di Detachment Fold, con l'aggiunta dei poligoni.

Modello 2: Fault Propagation Fold

Partendo dal modello visibile in Figura 14, al fine di poter applicare l'algoritmo di Fault Propagation Fold, è necessario disegnare una superficie di thrust lungo la quale possa aver luogo il movimento. Essa, sulla base delle informazioni contenute nel glossario di McClay (1992), deve essere in risalita come visibile in Figura 19.

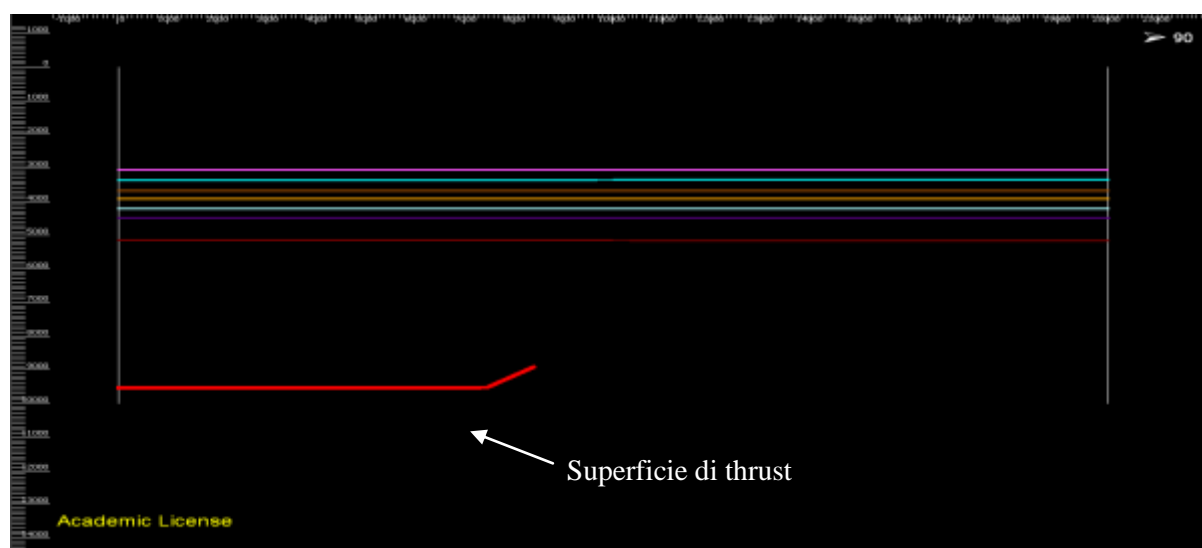


Figura 19: Modello di partenza per l'algoritmo di Fault Propagation Fold. In rosso è segnata la superficie di thrust

Per creare la superficie di thrust è necessario selezionare il tasto Create dal Menù principale e cliccare sul comando Fault. Inserita la superficie di thrust si può aprire la finestra a tendina dal tasto Structural Modelling e selezionare il comando Move on Fault. Diversamente dal caso precedente (Modello 1), si deve scegliere l'algoritmo di Fault Propagation Fold all'interno del quale inserire le seguenti informazioni:

- Active Fault: coincide con la superficie di thrust;
- Object to Be Moved ovvero gli orizzonti che si desidera muovere durante il processo deformativo. Come per il Modello 1 è necessario selezionare tutti e sette i riflettori che costituiscono il *cake layer*, posti al di sopra della superficie di thrust.
- Movement. I parametri richiesti in questa finestra di dialogo sono i seguenti: Displacement, numero di step, numero di campioni, Propagation Apex, Inclination Apex, Constant Thicknes/ Constant Axis e Pin Postition.

Sulla base di queste informazioni, al fine di produrre un modello uguale o simile alla situazione ipotizzata (ad esempio un'anticlinale asimmetrica) è necessario agire con un processo di *trial and error* per stabilire quali sono i parametri migliori da utilizzare.

I parametri richiesti dal software Move per il funzionamento di questo algoritmo sono i seguenti:

- Displacement;
- Numero di step;
- Numero di campioni;
- Propagation Apex;
- Inclinazione Apex;
- Constant Thickness.
- Pin Position.

Sulla base dei parametri impostati si ottiene il seguente risultato (Figura 20).

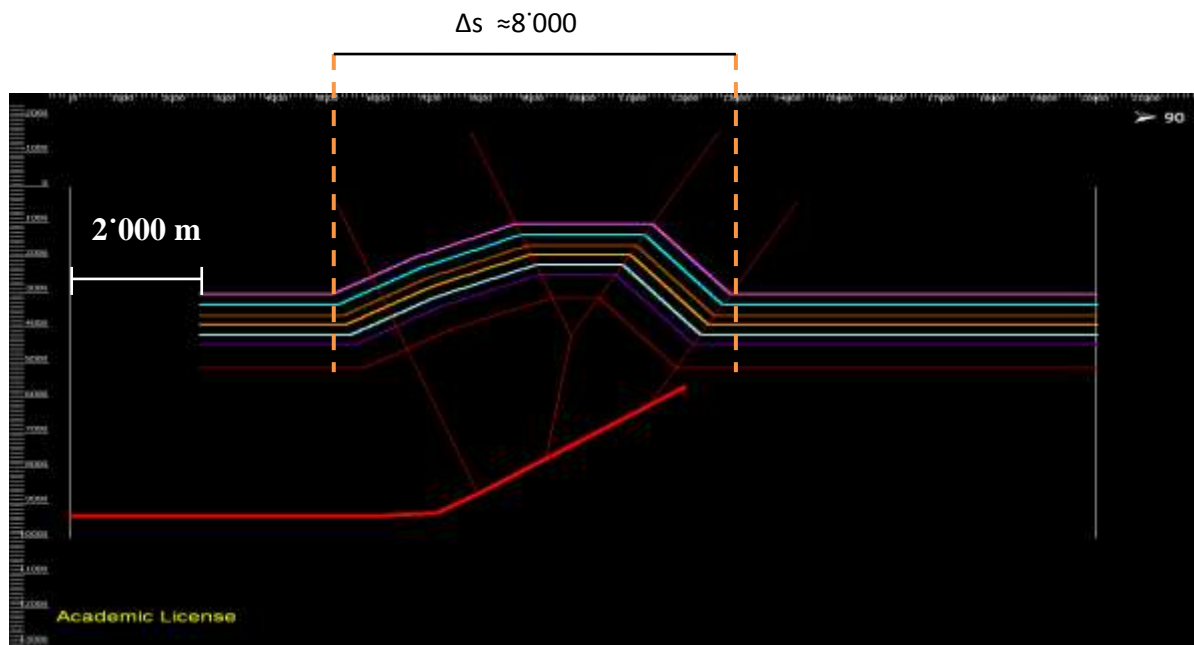


Figura 20: Esempio ottenuto con l'algoritmo di Fault Propagation Fold andando a settare i seguenti parametri: Displacement = 2'000 metri, Numero di step = 1, Numero di campioni = 500, Propagation Apex = Right, Inclination Apex = - 36.90°, Constant Thickness, Pin Position -> non si è scelto un valore in particolare, ma si è cercato di posizionare l'anticlinale al centro del modello.

Terminata la fase deformativa avviene la deposizione degli orizzonti più superficiali successivi la fase compressiva. Questi ultimi sono disposti orizzontali e coprono la sottostante struttura compressiva (Figura 21).

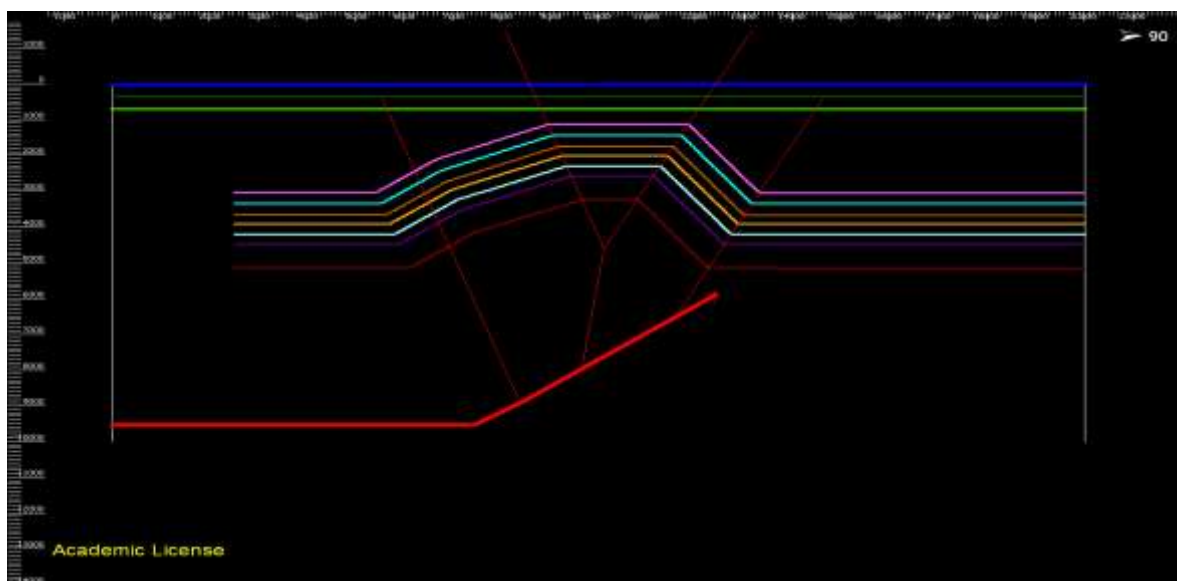


Figura 21: Risultato finale ottenuto con l'algoritmo di Fault Propagation Fold.

Il medesimo risultato può essere rappresentato con l'utilizzo dei poligoni. Per crearli si devono selezionare sia i riflettori sia i Post tenendo premuto il tasto Ctrl, si deve poi aprire la finestra a tendina Create dal Menù principale e scegliere il comando Polygons (Auto).

In Figura 22 è mostrato il risultato finale ottenuto dall'algoritmo di Fault Propagation Fold con l'aggiunta dei poligoni.

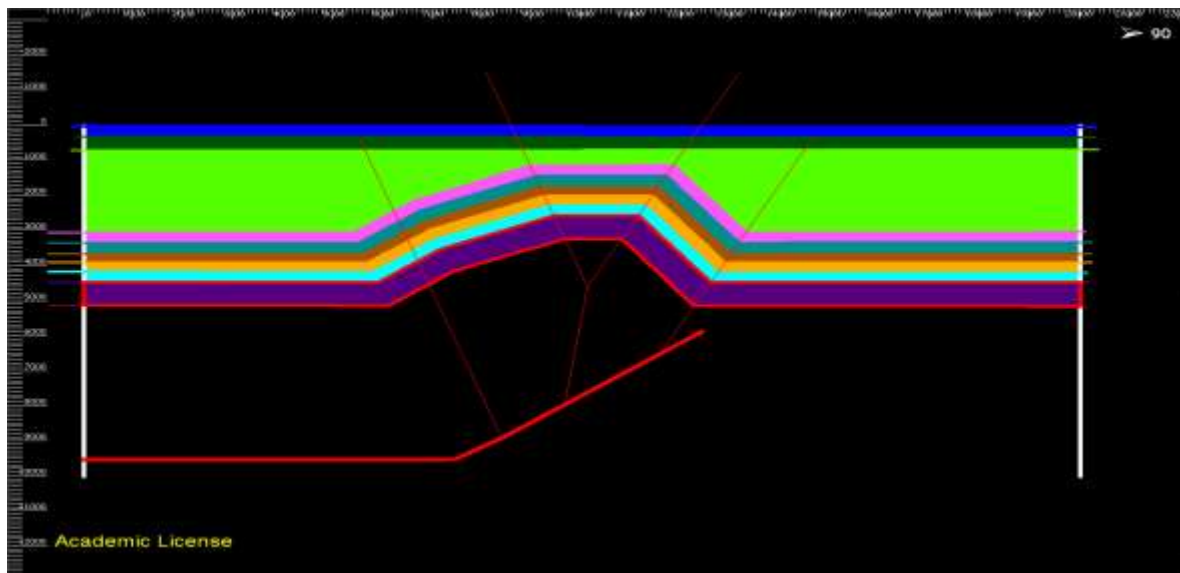


Figura 22: Risultato finale con poligoni ottenuto tramite l'utilizzo dell'algoritmo di Fault Propagation Fold